

# ESTADO DEL ARTE DE LA QUINUA EN EL MUNDO EN 2013



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

**Secretaría del Año Internacional de la Quinua:** Salomón Salcedo (FAO)  
**Coordinación General del Año Internacional de la Quinua:** Tania Santivañez (FAO)  
**Coordinación científica y técnica:** Didier Bazile (CIRAD)  
**Edición científica:** Didier Bazile, Daniel Bertero y Carlos Nieto  
**Revisión de textos y estilo:** Raúl Miranda  
**Diseño:** Marcia Miranda  
**Colaboradores:** Sara Granados y Gonzalo Tejada

**Para citar el libro completo:**

BAZILE D. et al. (Editores), 2014. "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia), 724 páginas

**Para citar solo un capítulo:**

AUTORES, (2014). Título del capítulo. Capítulo Numero XX. IN: BAZILE D. et al. (Editores), "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. XX-YY

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-308558-3 (PDF)

© FAO, 2014

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, descargar e imprimir el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO aprueba los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios. Todas las solicitudes relativas a la traducción y los derechos de adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán dirigirse a [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request) o a [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización ([www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico a [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org).



# ESTADO DEL ARTE DE LA QUINUA EN EL MUNDO EN 2013

Secretaría del Año Internacional de la Quinua:

Salomón Salcedo (FAO)

Coordinación General del Año Internacional de la Quinua:

Tania Santivañez (FAO)

Coordinación científica y técnica:

Didier Bazile (CIRAD)

Edición científica:

Didier Bazile, Daniel Bertero y Carlos Nieto

FAO

Santiago, Chile

CIRAD

Montpellier, France

Centre de Coopération Internationale en Recherche

Agronomique pour le Développement

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y

la Agricultura

Santiago, 2014



# INDICE

<b>Listado de autores</b>	<b>VIII</b>
<b>Reconocimientos</b>	<b>XI</b>
<b>Presentación</b>	<b>XIII</b>
<hr/>	
<b>Introducción general.</b>	
Introducción al estado del arte de la quinua en el mundo	1
El largo camino de la quinoa: ¿quiénes escribieron su historia?	3
<hr/>	
<b>Parte 1. Botánica, Domesticación y Circulación de Recursos Genéticos</b>	<b>11</b>
Capítulo 1.1. Botánica, filogenia y evolución	12
Capítulo 1.2. Herramientas moleculares y genómicas para la quinua	26
Capítulo 1.3. La domesticación y distribución prehistórica	33
Capítulo 1.4. Dinámica de expansión mundial del cultivo de la quinua respecto a su alta biodiversidad	49
Capítulo 1.5. Estado de la conservación <i>ex situ</i> de los recursos genéticos de quinua	65
Capítulo 1.6. Los sistemas que regulan el intercambio de los recursos genéticos: importancia para el acceso, la circulación y la innovación en el caso de la quinua	95
Capítulo 1.7. Pagos voluntarios para la conservación de la diversidad de la quinua: explorando el papel de los pagos por servicios ambientales en los Andes	124
<hr/>	
<b>Parte 2. Aspectos agronómicos y ecológicos</b>	<b>137</b>
Capítulo 2.1. Control ambiental del desarrollo	138
Capítulo 2.2. Fisiología de las semillas y respuesta a las condiciones de germinación	153
Capítulo 2.3. Tolerancia a condiciones salinas	167
Capítulo 2.4. Respuestas a la sequía y adaptación de la quinua	185

Capítulo 2.5. Mejoramiento genético de la quinua y el desarrollo de variedades modernas	203
Capítulo 2.6. Principales plagas y enfermedades de la quinua	227
<b>Parte 3. Aspectos técnicos y nutricionales</b>	<b>257</b>
Capítulo 3.1. Procesos tradicionales e innovaciones tecnológicas en la cosecha, beneficiado e industrialización de la quinua	258
Capítulo 3.2. Forraje y alimentación animal	297
Capítulo 3.3. Saponinas	317
Capítulo 3.4. Quinua: Aspectos nutricionales del arroz de los Incas	331
Capítulo 3.5. Perspectivas nutraceuticas: propiedades biológicas y aplicaciones funcionales	341
Capítulo 3.6. Quinua, enfermedad celiaca y la dieta libre de gluten	358
<b>Parte 4. Aspectos Sociales y Económicos</b>	<b>375</b>
Capítulo 4.1. Comercio internacional de quinua	376
Capítulo 4.2. Las dinámicas de comercialización de la quinua en los países andinos: ¿qué oportunidades y retos para la agricultura familiar campesina?	394
<b>Parte 5. Contexto del cultivo en su área originaria</b>	<b>409</b>
Capítulo 5.1.a. La Quinua en Bolivia: perspectiva de la Fundación PROINPA.	410
Capítulo 5.1.b Altiplano Sur de Bolivia	432
Capítulo 5.2. Perú	450
Capítulo 5.3. La Quinua en Ecuador	462
Capítulo 5.4. La quinua en Chile	477
Capítulo 5.5. Argentina	504

<b>Parte 6. Experimentación y difusión actual</b>	<b>519</b>
<b><i>Sub-Parte 6.1.</i></b>	
<b><i>Europa y cuenca del Mediterráneo</i></b>	
Capítulo 6.11.	520
Adaptación y posibilidades para la quinua en las latitudes septentrionales de Europa	
Capítulo 6.12.	534
« <i>Quinoa d'Anjou</i> »: Comienzo del sector de quinua francesa	
Capítulo 6.13.	542
La quinua en Italia: investigación y perspectivas	
Capítulo 6.14	558
Experimentación y producción de Quinoa en Turquía	
Capítulo 6.15	574
El estado de la producción e investigación de la quinua en Marruecos	
Capítulo 6.16	592
Grecia	
<b><i>Sub-Parte 6.2. Asia</i></b>	
Capítulo 6.21.	619
Quinoa en el sub continente Indio	
<b><i>Sub parte 6.3.África</i></b>	
Capítulo 6.31.	635
Evaluación de quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd.</i> ) y adaptación a las condiciones agroclimáticas de Mali, África Oeste:	
Un ejemplo de colaboración Sur-Norte-Sur	
Capítulo 6.32.	647
Producción y utilización de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa Willd.</i> ) más allá de sus tradicionales zonas de cultivo: Un caso de Kenia	
<b><i>Sub parte 6.4.</i></b>	
<b><i>América del Norte y Brasil</i></b>	
Capítulo 6.41.	665
La quinua en Estados Unidos y Canadá	
Capítulo 6.42.	681
Avances y desafíos de la producción y utilización de la quinua en Brasil	
<b><i>Conclusiones</i></b>	<b>708</b>
Capítulo 7.1.	
Conclusiones: Desafíos entre oportunidades y amenazas para el futuro de la quinua en torno a los cambios globales	

# LISTADO DE AUTORES

ADOLF VERENA, ISABELLE (DINAMARCA)  
ALANOCA, CAROLINA (BOLIVIA)  
ALERCIA, ADRIANA (ITALIA)  
ALVAREZ-FLORES, RICARDO (FRANCIA)  
ANDRADE, ALBERTO J. (ARGENTINA)  
ANTOGNONI, FABIANA (ITALIA)  
ARONI, GENARO (BOLIVIA)  
BABOT, PILAR (ARGENTINA)  
BAUDOIN, ANDREA (BOLIVIA)  
BAUDRON, FLORA (FRANCIA)  
BAZILE, DIDIER (FRANCIA)  
BENLHABIB, OUAFAE (MARRUECOS)  
BERTERO, HÉCTOR DANIEL (ARGENTINA)  
BHARGAVA, ATUL (INDIA)  
BIONDI, STEFANIA (ITALIA)  
BLANCO CALLISAYA, JOSE ANTONIO (CHILE)  
BOMMEL, PIERRE (FRANCIA)  
BONIFACIO, ALEJANDRO (BOLIVIA)  
BOURLIAUD, JEAN (FRANCIA)  
BRASSE, CÉLINE (FRANCIA)  
BRUNO, MARÍA CRISTINA (USA)  
BURRIEZA, HERNÁN (ARGENTINA)  
CANAHUA, A. (PERU)  
CÁRDENAS, J. (BOLIVIA)  
CARIMENTRAND, AURÉLIE (FRANCIA)  
CASTELLIÓN, MARTINA (ARGENTINA)  
CCOÑAS, W. (PERU)

CECCATO, DIANA (ARGENTINA)  
CHEVARRIA-LAZO, MARCO (PERU)  
CHIA, EDUARDO (FRANCE)  
CHOUKRALLAH, REDOUANE (MARRUECOS)  
CHURA, E. (PERU)  
CICLITIRA, P. J. (INGLATERRA)  
CORTES, GENEVIÈVE (FRANCIA)  
COSTA TÁRTARA, SABRINA M. (ARGENTINA)  
COULIBALY, A.K. (MALI)  
CRESPO, LUIS (BOLIVIA)  
CRUZ, PABLO (ARGENTINA)  
CURTI RAMIRO, N. (ARGENTINA)  
D'ANDRIA, R. (ITALIA)  
DA SILVA ROCHA, JULIANA EVANGELISTA (BRASIL)  
DE BARROS SANTOS, ROBERTO LORENA (BRASIL)  
DE JESUS SOUZA, FERNANDES (BRASIL)  
DE LIMA, CRISTIANE ANDREA (BRASIL)  
DEL CASTILLO, CARMEN (BOLIVIA)  
DELATORRE-HERRERA, J. CHILE)  
DELFINO, I. (CHILE)  
DESSAUW, DOMINIQUE (FRANCIA)  
DI FIORE, R. (ITALIA)  
DINELLI, GIOVANNI (ITALIA)  
DIULGHEROFF, STEFANO (ITALIA)  
DRUCKER, ADAM G. (ITALIA)  
ESCALERA, RAMIRO (BOLIVIA)  
FUENTES, FRANCISCO, (CHILE)  
FURCHE, CARLOS, (CHILE)  
GANDARILLAS, ANTONIO (BOLIVIA)  
GANDARILLAS, ANTONIO (BOLIVIA)  
GARCÍA, M. (BOLIVIA)  
GASSELIN, PIERRE (FRANCIA)  
GIANQUINTO, GIORGIO (ITALIA)  
GOLSBERG, CELESTE (ARGENTINA)  
GOMEZ-PANDO, L. (PERÚ)  
GONZALES, V. (PERÚ)  
GONZÁLEZ, JUAN ANTONIO (ARGENTINA)

- HERENCIA, L. I. (ESPAÑA)  
HOCDE, HENRI (FRANCIA)  
ILIADIS, CONSTANTINOS (GRECIA)  
INCEKAYA, ÇİĞDEM (TURQUÍA)  
JACOBSEN, SVEN-ERIK (DINAMARCA)  
JARA, BYRON, (CHILE)  
JAYME-OLIVEIRA, ADILSON (BRASIL)  
JELLEN, ERIC N. (USA)  
JOFFRE, RICHARD (FRANCIA)  
KARYOTIS, THEODORE (GRECIA)  
KHAEMBA, MASINDE JULIUS (KENIA)  
KOLANO, BOZENA A. (POLONIA)  
KONATE, M. (MALI)  
KRIVONOS, EKATERINA (ITALIA)  
LACROIX, PIERRIL (ECUADOR)  
LAGUNA, PABLO (MÉXICO/BOLIVIA)  
LAVINI, A. (ITALIA)  
LÉGER, F. (FRANCIA)  
LEÓN, PEDRO (CHILE)  
LÓPEZ, MARÍA LAURA (ARGENTINA)  
LOUAFI, SELIM (FRANCIA)  
MALDONADO, SARA (ARGENTINA)  
MANIFESTO, MARCELA M. (ARGENTINA)  
MANZÓN, N (ECUADOR)  
MARCA, S. (PERÚ)  
MAROTTI, ILARIA (ITALIA)  
MARTÍNEZ, ENRIQUE A. (CHILE)  
MAUGHAN, PETER J. (USA)  
MAZÓN, N. (ECUADOR)  
MEHINAGIC, EMIRA (FRANCIA)  
MIDLER, ESTELLE (ESPAÑA)  
MIRANDA, MARGARITA (CHILE)  
MONCADA, SANDRA (CHILE)  
MORALES, ANDREA (CHILE)  
MUJICA, A. (PERÚ)  
MURPHY, KEVIN MATTHEW (USA)  
NAMDAR-IRANI, MINA (CHILE)  
NARLOCH, ULF (ESPAÑA)  
NINA LAURA, JUAN PETER (BOLIVIA)  
NOULAS, CHRISTOS (GRECIA)  
OHRI, DEEPAK (INDIA)  
OJEDA, NORKA (BOLIVIA)  
OLGUÍN, M. PABLO (CHILE)  
ORSINI, FRANCESCO (ITALIA)  
OUSSIBLE, MOHAMED (MARRUECOS)  
ORTIZ-ROMERO, RENÉ (PERÚ)  
OYOO, MAURICE E (KENIA)  
PADULOSI, STEFANO (ITALIA)  
PAREDES-GONZALEZ, XIMENA (USA)  
PASCUAL, UNAI (INGLATERRA)  
PERALTA, E. (ECUADOR)  
PEREZ, A. (PERU)  
PETERSON, ADAM JOSHUA (USA)  
PINTO, MILTON (BOLIVIA)  
PIVA, GUILLAUME (FRANCIA)  
PLANELLA, MARÍA TERESA (CHILE)  
PLATA, GIOVANNA (BOLIVIA)  
POCCO, M. (PERÚ)  
PULVENTO, CATALDO (ITALIA)  
QUIROGA, CARLA (BOLIVIA)  
RAB CZUK, PABLO, (URUGUAY)  
RAGAB, RAGAB (INGLATERRA)  
RAMBAL, SERGE (FRANCIA)  
RAMIREZ ASCHERI, JOSÉ LUIS (BRASIL)  
RAMIREZ, ALBERTO (CHILE)  
RAMPAZZO, LETÍCIA SIMONE (BRASIL)  
RANEY, J.A. (USA)  
RAZZAGHI, FATEMEH (IRAN)  
RIBEIRO JUNIOR, WALTER QUADROS (BRASIL)  
RICCARDI, M. (ITALIA)  
RIVIÈRE, GILLES (FRANCIA)  
ROJAS, WILFREDO (BOLIVIA)  
RUIZ ANTONIO (BOLIVIA)  
RUIZ, KARINA B (CHILE)



SAA, CONSTANZA (CHILE)  
SALCEDO, SALOMON (CHILE)  
SÁNCHEZ, M. (CHILE)  
SANGARE, A. (MALI)  
SANTIVAÑEZ, TANIA (CHILE)  
SARAVIA, RAÚL (BOLIVIA)  
SEZEN, METIN SEMIH (TURQUÍA)  
SILVA, HERMAN (CHILE)  
SOTO, JOSÉ LUIS (PERU)  
SPEHAR, CARLOS ROBERTO (BRAZIL)  
TAPIA, M. (PERU)  
TEJADA, T. (PERÚ)  
TEKIN, SERVET (TURQUÍA)  
THOMET, MAX (CHILE)  
TICHIT, M. (FRANCIA)  
TOURRAND, J.F. (FRANCIA)  
TRAORE, S. (MALI)  
TROISI, J. (ITALIA)  
TROMMETTER, MICHEL (FRANCIA)  
VALDIVIA, ENRIQUE (PERU)  
VASSAS, TORAL ANAÏS (FRANCIA)  
VEGA-GÁLVEZ, ANTONIO (CHILE)  
VIDAL, B. ALEJANDRA (CHILE)  
VIEIRA PAK, MANUELA (FRANCIA)  
VILLANTOY, A. (PERU)  
VILLCA, MILTON (BOLIVIA)  
VIVEROS, RAUL H. (ARGENTINA)  
WINKEL, THIERRY (FRANCIA)  
YAZAR, ATTILA (TURQUÍA)  
ZEVALLOS, F. (INGLATERRA)  
ZURITA-SILVA, ANDRÉS (CHILE)



# RECONOCIMIENTOS

XI

Este libro es el resultado de la activa participación de personas comprometidas con la investigación y el desarrollo sostenible de la Quinoa.

Un especial reconocimiento a los autores de los diferentes artículos aquí presentados, que tienen a la quinoa como principal elemento de investigación, y cuyos hallazgos son un aporte a la lucha contra el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo.

A los funcionarios de FAO y CIRAD que apoyaron en las distintas etapas de esta publicación.

A Andean Naturals por apoyar la impresión y distribución de este libro.



# PRESENTACIÓN

XIII

En su discurso con motivo del lanzamiento del **Año Internacional de la Quinua**, el Sr. José Graziano da Silva, Director General de la FAO, hizo alusión a la Quinua como un gran aliado en la lucha contra el hambre. En ese sentido, no solo para maximizar los beneficios de los aportes de este grano de oro, sino para comprender sus desafíos y riesgos asociados, necesitamos contar con los avances técnicos y científicos y en general, todo el conocimiento disponible de este noble cultivo y mejor alimento.

FAO en el año 2002, publicó en un primer gran esfuerzo el documento **“Quinua (*Chenopodium quinoa*); ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro”**. Sin embargo, en esta era tecnológica y habiendo transcurrido ya una década desde aquella publicación, nuevas investigaciones, innovaciones y conocimientos se han generado.

Por ello y en el marco del Año Internacional de la Quinua, se nos hizo indispensable hacer un nuevo esfuerzo para reunir los avances de estos últimos años en el conocimiento sobre la quinua, en este documento denominado **“Estado del arte de la quinua en el mundo”**. El objetivo es que este documento se convierta en consulta obligada para tomar mejores decisiones y más informadas sobre la quinua.

FAO ha convocado para esta labor al Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD, siglas en francés), quienes aceptaron el gran reto de buscar y coordinar con los autores de los capítulos que conforman este libro.

Con este esfuerzo, la FAO y en particular esta Oficina Regional, se sienten satisfechos ya que estamos cumpliendo con uno de los principales roles de nuestra organización, el de ofrecer y compartir información especializada a la comunidad toda.

Raúl Benítez

Representante Regional de FAO para América Latina y el Caribe





# INTRODUCCIÓN AL ESTADO DEL ARTE DE LA QUINUA EN EL MUNDO

\*Autor para correspondencia: Didier BAZILE, <didier.bazile@cirad.fr>

Autores: DIDIER BAZILE<sup>1</sup>, TANIA SANTIVÁÑEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UPR GREEN; CIRAD-ES; TA C-47/F; Campus International de Baillarguet; 34398 Montpellier Cedex 5 – FRANCE

<sup>2</sup> FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe

## ¿Por qué escribir el estado del arte de la quinoa en el mundo en el 2013?

En el 2013 las Naciones Unidas declararon el Año Internacional de la Quinoa, situándola en un espacio privilegiado a nivel global, generando expectativas y desafíos, tales como contar con estudios y artículos científicos, compilados y accesibles que describan con precisión el aporte potencial de la quinoa y sus limitaciones para implementar el cultivo y promover su consumo en diferentes zonas del mundo.

El estado de arte consiste en ir tras las “huellas de la quinoa” determinando cómo se encuentra actualmente y cuáles son las tendencias sectoriales en el 2013 de este cultivo excepcional, que por sus cualidades nutricionales, su diversidad y su resistencia a la sequía y al frío ha sido catalogada como una importante alternativa para contribuir a la seguridad alimentaria mundial, especialmente en aquellas zonas donde la población no tiene acceso a fuentes adecuadas de proteína, o donde existen limitaciones ambientales para la producción de cultivos alimenticios.

En este contexto, el *Estado del arte de la quinoa en el mundo*, tiene como objetivo principal reunir en un documento único información técnico-científica actualizada sobre el cultivo de la quinoa para favorecer la difusión de estos conocimientos, promover el diálogo y el debate entre actores del desarrollo de la quinoa a nivel mundial y

generar nuevas expectativas del cultivo en el mundo, considerando sus aportes a la seguridad alimentaria y a la economía de la agricultura familiar, pero también considerando los riesgos inherentes de una expansión descontrolada, en particular poniendo énfasis: en la necesidad de regulación de la circulación de los recursos fitogenéticos y la redistribución justa y equitativa de los beneficios de su utilización fuera de la zona andina y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

El libro está estructurado en 6 partes que permite transitar por los distintos conocimientos actuales sobre los varios temas de interés alrededor del cultivo de quinoa a nivel mundial.

En la Parte 1 se presentan aspectos sobre “Botánica, domesticación y circulación de los recursos genéticos”. La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta anual que presenta una amplia diversidad de cultivos y variedades. Es una de las especies domesticadas en los alrededores del lago Titicaca, entre Perú y Bolivia. Este lugar es considerado como el centro de origen de la quinoa donde se conserva in situ la mayor diversidad de esta especie, como de sus parientes silvestres. Una reflexión sobre el estado de conservación actual de los recursos genéticos de la quinoa nos permite entender más después la importancia de los instrumentos de regulación de la circulación de estos recursos fitogenéticos según los usos.

**En la Parte 2**, los diversos capítulos abordan los “Aspectos agronómicos y ecológicos” para entender cuáles son los requisitos para el desarrollo del cultivo de quinua, con una atención particular a su tolerancia a la salinidad o a la sequía. El capítulo sobre mejoramiento genético aporta una visión histórica del desarrollo de variedades modernas de quinua.

**En la Parte 3**, se consideran los “Aspectos técnicos y nutricionales”. La quinua cosechada tiene que ser beneficiada, desaponificada para ser consumida por los seres humanos. Varios capítulos de esta parte abordan el alto valor nutricional de la quinua para la alimentación humana como también animal, considerando la ausencia de gluten del grano para los celíacos y las perspectivas nutraceuticas que están emergiendo.

**En la Parte 4**, se tratan “Aspectos sociales y económicos” para abordar la importancia de la quinua a nivel mundial desde el punto de vista económico y las relaciones que existen entre países. Pero como la quinua antes de ser un producto de exportación es un alimento base para las comunidades andinas, el capítulo

“Diversidad de modos de comercialización” nos muestra las diferentes formas de relacionamiento al mercado por los grupos de productores de los países andinos. Eso nos permite la comprensión de la lógica y fortaleza de la asociatividad de la pequeña agricultura en torno a la quinua.

**En la Parte 5**, los capítulos presentan la información actualizada de los “Cultivos de quinua en los países andinos”: Bolivia, Perú, Ecuador, Chile y Argentina.

**La Parte 6** reúne varios capítulos sobre la “Experimentación y difusión actual” de la quinua en los nuevos países productores. Se consideran así la adaptación de la quinua en Europa en el Mediterráneo, su introducción en Asia a partir del caso del análisis de India y Pakistán, su experimentación en África, y también en Estados Unidos y Brasil.

La conclusión presenta las perspectivas mundiales considerando la geografía y la geopolítica de la quinua en un contexto internacional, los desafíos globales y el papel de la quinua en la meta de la hambre cero.

# EL LARGO CAMINO DE LA QUINOA: ¿QUIÉNES ESCRIBIERON SU HISTORIA?

*\*Autor para correspondencia:* Mario E. TAPIA  
<mariotapia@amauta.rcp.net.pe>

La quinua, *Chenopodium quinoa Willd.*, la kañiwa *Chenopodium pallidicaule Aellen* y las especies comestibles conocidas como kiwicha, achis, milmi o coimi *Amaranthus caudatus L.*, constituyeron en conjunto un importante componente en la dieta alimenticia de los pueblos prehispánicos en las tierras altas de los Andes desde Colombia hasta Argentina y Chile. Su uso fue común en las regiones andinas hasta el inicio del siglo pasado, cuando los países de la zona andina iniciaron la importación masiva de trigo.

En las tierras altas de México también se cultivó una quenopodiácea, el *Chenopodium nuttalliae*, denominado “huauzontle”, que tiene gran similitud con la quinua (Hunziker, 1952), aunque ahora su área de cultivo es muy reducida.

## La quinua en la época precolombina.

Existen importantes hallazgos arqueológicos que muestran que estas especies eran antiguamente consumidas de manera abundante. Towle (1961) menciona varios hallazgos arqueológicos de quinua, consistentes en ramas fructíferas terminales y granos sueltos, encontrados en diferentes regiones del Perú y en la zona costera de Arica, Chile.

Bollaert (1860) relata que encontró semillas de quinua en las antiguas tumbas indígenas en Tarapacá y en Calama (Chile) y en la región Colchaqui-Diaguita. Latcham (1936) menciona haber encontrado semilla de quinua en una antigua sepultura indígena de Tilti (Chile) y en bastante cantidad en Quíllagua (Chile).

Como indica Núñez (1970) no se conoce bien cómo fueron domesticadas la quinua y la papa, sin embargo, por hallazgos en el norte de Chile (complejo Chinchorro), el autor señala que al menos la quinua fue utilizada antes del año 3000 A.C. Por los hallazgos en el área de Ayacucho, Perú, Uhle (1919) da una fecha incluso anterior, 5000 años A.C., como el inicio de la domesticación de esta planta.

Ulloa Mogollón en 1586 hace referencia al uso de la quinua en la provincia de los Collaguas (Bolivia). Como ya se dijo, existen evidencias de que la quinua era ampliamente cultivada en los valles del norte de Chile. En 1558, Cortés Hoguea, el primero en visitar la isla de Chiloé (Chile) halló en ella siembras de quinua. En el territorio argentino, Pedro Sotelo (1583) menciona esos cultivos en el valle de Calchaquies y en las cercanías de Córdoba.

Como referencia de cultivos de quinua más australes están los relatos del padre jesuita Antonio Mechoni (1747) quien cuenta que “tan al sur como a orillas del lago Nahuel Huapi, los araucanos cultivaban esta especie”.

En el norte del Perú el cultivo de la quinua fue común, pero en asociación con maíz. Más al sur, ésta alcanzó importancia tanto en el “Callejón de Huaylas” como en el valle del Mantaro, donde fue ampliamente cultivada por el grupo regional de los Huancas y la zona de Ayacucho por la cultura Wari (ver vaso ceremonial).

Cieza de León (1560) informa que en el sur de Colombia también se cultivaba la quinua en las tierras altas entre las ciudades de Pasto y Quito, y escribe: “en todos estos pueblos se da poco maíz o



casi ninguno, a causa de las bajas temperaturas se da solo la quinua”.

Pulgar Vidal (1954) menciona que tanto los Chibchas como otras tribus de la meseta Cundi-boyacense (Colombia) cultivaron intensamente la quinua. También se ha sugerido que los antiguos habitantes de Cuyumbe (actuales ruinas de San Agustín en el Huila, Colombia), quienes tenían relaciones con los pobladores de la sabana de Bogotá, ayudaron a la dispersión de la quinua hacia el sur de la actual Colombia, y que en una etapa posterior habiendo emigrado hacia el sur del continente, hubieran llevado sus semillas, entre ellas la quinua, que compartida con otras naciones, explicarla su distribución en Ecuador.

Ulloa Mogollón en 1586 hace referencia al uso de la quinua en la provincia de los Collaguas (Bolivia). Como ya se dijo, existen evidencias de que la quinua era ampliamente cultivada en los valles del norte de Chile. En 1558, Cortés Hoguea, primero en visitar la isla de Chiloé (Chile) halló en ella siembras de quinua. En el territorio argentino, Pedro Sotelo (1583) menciona esos cultivos en el valle de Calchaquies y en las cercanías de Córdoba.

El primer español que menciona el cultivo de la quinua en el nuevo mundo es Pedro de Valdivia, quien al informar al Emperador Carlos I en 1551 sobre los cultivos de los alrededores de Concepción (Chile) indica que en la región “es abundosa de todos el mantenimiento que siembran los indios para su sustentación, el maíz, las papas y la quinua”. Numerosas fuentes relatan que a la llegada de los españoles a esa región, los “ccolcas” o depósitos de alimentos tenían grandes cantidades de grano de quinua que los alimentaron por varios meses.

### La Quinua en la Colonia

El Inca Garcilaso de la Vega en sus famosos Comentarios Reales dice respecto a la quinua: “el segundo lugar de las mieses que se crían sobre la haz de la Tierra dan a lo que llaman “quinua” y en español “mijo” o arroz pequeño: porque en el grano y el color se le asemeja algo”. Este historiador hace referencia a la primera exportación de granos de quinua al viejo mundo, cuando en su viaje a España toma muestras de quinua pero que en su

largo recorrido en barco, no lograron propagarse por “haber llegado muertos”.

Sin embargo existió una fuerte confusión al no identificar la quinua en todos los casos con la especie *Chenopodium quinoa*. Los españoles de esa época relacionaron la quinua con los bledos, (*Amaranthus blitum* L) que crece en Europa y probablemente de allí la poca atención que recibió en toda la época de la colonia. Bernabe Cobo (1663) indica que la Quinua es una planta muy parecida a los bledos de la Península Ibérica,

La confusión aparece cuando el eminente botánico Carolus Clusius en su Historia Rariorum Plantarum de 1601 presenta la primera ilustración de una especie que el denomina quinua, pero que en realidad es una planta de *Amaranthus caudatus*.

En cuanto a nombres regionales de la quinua, hay evidentemente tantos como regiones o idiomas que la conocían. Robledo, citado por Pulgar Vidal (1954), especifica que los Chibchas (Colombia) la denominaron “pasca” y que con gran sorpresa se ha definido que “pasca” etimológicamente significa “la olla o comida del padre”.

El nombre “suba” o “supha” (idioma Chibcha) es indicado por Pulgar Vidal como el nombre primitivo de la quinua en el área de Bogotá y el autor lo relaciona con el término aimará de “hupha”, que se utiliza aún en algunas regiones de Bolivia. En el resto del territorio que ahora es Colombia se había generalizado el nombre quechua “quinua”, pero en Cundinamarca el nombre indígena era “parca”.

En el idioma aimará las quinuas han recibido diferentes nombres, según la variedad. La morada se llamaba “cami”, la blanca y más apreciada “ppfique”, la colorada “kana llapi”, la amarilla “cchusllunca”, otra variedad amarillenta “ccachu yusi” y la silvestre “isualla”, de acuerdo a Latcham (1936). Sin embargo, este autor confunde a la kañiwa y la incluye dentro de las variedades de quinua, denominándola “la quinua cenicienta o cañagua”. El mismo autor añade que en el norte de Chile se cultivaba quinua y que se llamaba en atacameño “dahue”. Bertonio (1879) añade voz aimará para las variedades como “aara”, “ceallapi” y “vocali”, que son los parientes silvestres de la quinua. También



Menciona una variedad entre colorada y negra, la “cami hupa”.

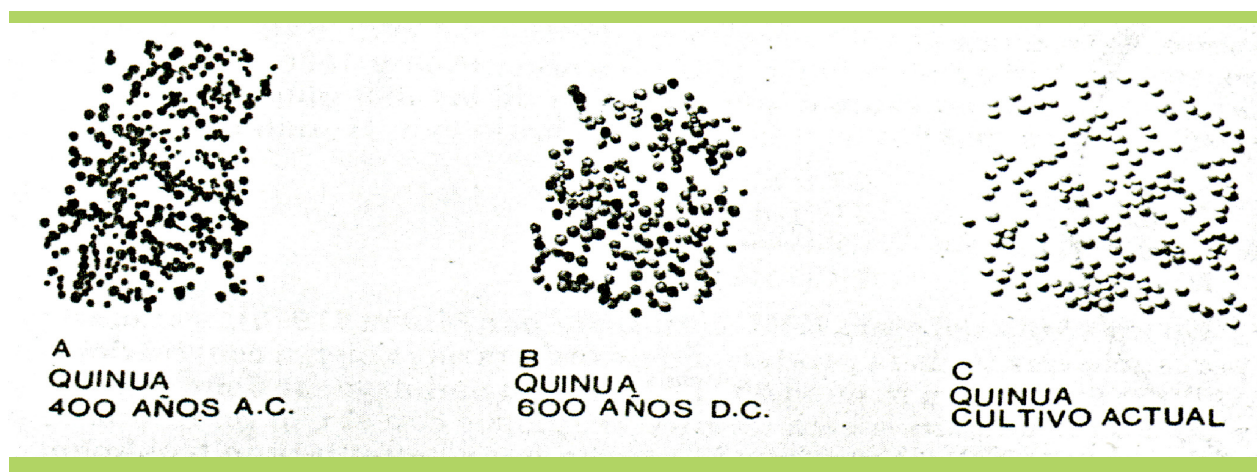
### El origen de la quinua.

En cuanto al origen de las especies domesticadas, Toro (1964) estudiando quinuas del Altiplano de Puno y Cusco, relaciona la antigüedad del cultivo y el origen de la domesticación de la quinua, con el actual uso de las voces quechua “kiuna” y aimará “jupha” y “jiura”, y las ve como pruebas de que las poblaciones de la raza aimará y quechua fueron las primitivas domesticadoras de esta planta.

Wilson (1990) señala que muy probablemente *Chenopodium hircimun*, ampliamente distribuida en

los Andes, es uno de los progenitores de la quinua y que de esta evolucionó y domesticó a las actuales quinuas. Mujica y Jacobsen (2006) mencionan que existen al menos 4 especies de *Chenopodium* afines a la quinua y que están ampliamente distribuidas en la región sur de los Andes como parientes y progenitores de la quinua y que de allí evolucionó y domesticó las actuales quinuas. (*Chenopodium carnosolum*, *Ch. hircinum*, *Ch. incisum*, *Ch. petiolare*)

La Figura 1 presenta quinuas con diferentes fechas de antigüedad, comprobadas con el método del carbono 14. Se puede observar que el variable porcentaje de semillas “ayaras” o “ajaras” (quinua silvestre de grano negro) va disminuyendo en las muestras más recientes.



**Figura 1.** Muestras de Quinuas de restos arqueológicos comparado con el cultivo actual.

Este proceso de domesticación y selección tomó siglos y en la actualidad se reconocen como variedades más evolucionadas aquellas que contienen muy bajo porcentaje de “ayaras” o quinua de grano color oscuro.

Toro (1964) relaciona la antigüedad del cultivo y el origen de la domesticación de la quinua, con el actual uso de las voces quechua “kiuna” y aimará “jupha” y “jiura” y las considera como pruebas de que las poblaciones aimará y quechua, fueron las primitivas domesticadoras de esta planta.

### La investigación contemporánea.

La investigación contemporánea de estos granos andinos se remonta a los trabajos realizados por

los botánicos Martín Cárdenas 1944 y 1969 en Bolivia; Fortunato Herrera 1941 en Cusco, Perú y las tesis realizadas en las facultades de Agronomía, especialmente en Cusco, posteriormente en Puno, Perú, Quito, Riobamba, Ecuador, Pasto en Colombia y Cochabamba, Bolivia.

Uno de los primeros eventos que congrega a investigadores de Bolivia y Perú fue la realización de la I Convención de Quenopodiáceas que se efectuó en Puno, organizada por la Universidad del Altiplano en 1968 y en donde los avances logrados por el Ing. Humberto Gandarillas en 1967 en la Estación Experimental de Patatamaya, Bolivia, como Fito mejorador, establecieron las pautas para proyectar las futuras investigaciones.

A esta I Convención sucedió una segunda que se realizó en Potosí en el año 1976 organizado por la Universidad Tomas Frias y el IICA y en donde participaron colegas de países como Argentina, Chile, Bolivia y el Perú.

En estas reuniones se percibió que no solo eran estas especies importantes en la agricultura andina sino que debían incorporarse las otras especies de tubérculos, raíces y frutales que aportaban a la alimentación humana.

Diez años más tarde se publica en Bogotá, Colombia el primer libro de carácter integral sobre el cultivo de la quinua y kañiwa, Tapia, et al. 1979. Apoyado por el CIID de Canadá y la participación del IICA con el aporte de especialistas de Perú y Bolivia.

La organización de los denominados Congresos de Cultivos Andinos que en número de doce se han realizado a través de todos los Andes desde Colombia hasta el sur en Chile y Argentina (1977-2006) ha sido la ocasión para presentar los avances logrados en los que el cultivo de quinua fue ganando notoriedad y se implementaron diferentes proyectos como el Proyecto Agroindustrial de la Quinua financiado por el Fondo Simón Bolívar del gobierno de Venezuela, en 1980, así como los diferentes proyectos que han promovido los gobiernos andinos con la cooperación de oficinas como el IICA, FAO, CIID, CAN y la participación de las Universidades regionales e Institutos Nacionales de Investigación.

Universidad Nacional Técnica del Altiplano



## ANALES

### I CONVENCION DE QUENOPODIACEAS QUINUA - CAÑIHUA

PUNO 5 - 8 NOVIEMBRE 1968 PERU

#### Cuadro 1

#### Relación de los Congresos de Cultivos Andinos.

Evento, Localidad, año	Participantes	Países	Artículos
I Convención, Puno, 1968	41	2	20
II Convención, Potosí, 1976	116	7	45
I Congreso, Ayacucho, 1977	122	6	39
II Congreso, Riobamba, 1980	754	25	
III Congreso, La Paz, 1982	159	6	88
IV Congreso, Pasto, 1984	101	9	63
V Congreso, Puno, 1986	699	7	133
VI Congreso, Quito, 1988	190	14	92
VII Congreso, La Paz, 1991	320	10	76
VIII Congreso, Valdivia, 1994	210	8	49
IX Congreso, Cusco, 1997	340	7	
X Congreso, Jujuy, 2001	285	6	52
XI Congreso, Cochabamba, 2003	290	7	64
XII Congreso, Quito, 2006	305	8	59

Tapia (1996) como resultado de un extenso recorrido por los Andes ha propuesto la diferenciación de cinco grandes grupos de quinua especialmente por sus características de adaptación a diferentes condiciones agroecológicas en los Andes:

- **Las quinuas de los valles interandinos**, de zonas meso térmicas.
- **Las quinuas del altiplano norte del Lago Titicaca** que comparten Perú y Bolivia con un

corto periodo de crecimiento.

- **Las quinuas de los Salares** en el Altiplano sur de Bolivia de halófilas adaptadas a suelos salinos y con un mayor tamaño de grano.
- **Las quinuas a nivel del mar** de grano oscuro y menor tamaño, que se cultivan en el centro y sur de Chile.
- **Las quinuas de los yungas** o zona subtropical en la vertiente oriental de los Andes en Bolivia.

## Cuadro 2

**Requerimientos de humedad y temperaturas, de los tipos de quinuas según las zonas agroecológicas. Tapia, 1996.**

Grupo agroecológico	Precipitación mm.	Temperatura mínima
De valle	700-1500	3 C.
De altiplano	400- 800	0 C.
De los Salares	250- 400	-1 C
De nivel del mar	800-1500	5 C.
Yungas	000-2000	11 C

En cada una de estos tipos de quinuas se ha podido encontrar variedades tradicionales que los campesinos han obtenido y cultivado por siglos y nuevas selecciones que se han probado en otros medios con variables resultados. Gandarillas ha propuesto la clasificación de las quinuas según la zona de adaptación y caracteres morfológicos denominándolas razas, Gandarillas, 1968.

En los últimos años, Canahua et. al. 2002, reconoce la existencia hasta de seis tipos de quinuas nativas que se cultivan en el altiplano de Puno basado en el conocimiento campesino de sus características agronómica como calidad y uso del grano en las comidas típicas de la población campesina.



**Figura 2:** Cultivares de quinua del Altiplano de Puno (foto Mario E. Tapia)

**Cuadro 3: Variedades nativas de quinuas que se cultivan en el altiplano de Puno. Canahua et. al. 2002**

Tipo de quinua	Color de planta/grano	Tolerancia al frio	Uso principal	Uso secundario
1. Blancas, janko o yurac	Blanca/blanco	mediana	Caldo o sopa	Pure o pesque
2. Chulpi o hialinas	Blanca/transparente	buena	Caldo	Pure
3. Witullas, coloreadas, Wariponcho	Rojo/rojo, purpura	alta	kispiño	Harinas, torreyas
4. Q'oitu,	Blanca o plomo/plomizo, marron.	buena	Torreyas	harinas
5. Pasancallas	Que revientan facilmente	Alta	mana	harinas
6. Cuchi willa	Rojo/negro	Alta	chicha	quispiño

Esta clasificación de los grandes tipos de quinuas es muy importante para programar el uso de las variedades en sistemas de siembras con relación a las zonas agroecológicas y sus condiciones agroclimáticas (Freere, Rijks y Rea, 1975)

Una publicación que tuvo mucho impacto en la comunidad científica fue el libro titulado “The Lost Crops of the Incas” que incluye a la quinua y que fue publicado por la National Academy of Science de los Estados Unidos el año 1989. Risi (1994) analiza la importancia de la quinua en el contexto de los sistemas agropecuarios andinos, sugiriendo que se debe hacer un análisis económico para determinar si la producción de quinua en países como Bolivia puede mantenerse. El caso es que con la declaración del Año Internacional de la Quinua el 2013 y la alta demanda del producto, los precios de la quinua se han elevado de manera que es totalmente rentable aun con bajos rendimientos.

La cooperación del gobierno de Dinamarca ha venido apoyando diversos trabajos de investigación sobre la quinua, tanto en Bolivia como en Perú y Ecuador, Jacobsen (2013) habiéndose incluso desarrollado una evaluación de variedades de quinuas a nivel mundial.

### La quinua en el mundo

Latinreco, una empresa financiada por Nestle, publicó en 1990 el libro “Quinua, hacia su cultivo comercial” que marco una nueva visión del potencial de quinua como un cultivo de carácter empresarial, (Wahli, 1990)

Celebrando el aniversario de los quinientos años de la llegada de Cristóbal Colon a América, FAO, 1992 publicó el libro, Cultivos Marginados otra perspectiva de 1492. En la que se incluye la Quinua y los otros granos andinos, como importantes recursos alimenticios. A su vez, la FAO ha divulgado por internet una publicación que actualiza los conocimientos de la quinua en el año 2003

Probablemente el evento científico que más han influido en la divulgación de este cultivo ha sido el Primer Taller Internacional de la Quinua del año 2001 que se realizó en Lima, al que sucedieron los siguientes tres Congresos Mundiales de la Quinua cuya cuarta versión se ha realizado en Ambato Ecuador.



#### Cuadro 4: Congresos Mundiales de la Quinua

I Taller Internacional de la Quinua	2001	Lima, Perú
II Congreso Mundial de la Quinua	2004	Arica, Chile
III Congreso Mundial de la Quinua	2010	Oruro, Bolivia
IV Congreso Mundial de la Quinua	2013	Ibarra, Ecuador

Un impacto notable en la difusión y un mayor consumo de la quinua, ha sido valor que le han dado los cocineros y la gastronomía regional en el Perú, que han empezado a utilizar este y otros cultivos andinos en la preparación de diversos platos, así como el reconocimiento de potencial alimenticio en la dieta de las personas.

En las últimas dos décadas la quinua ha pasado de ser un cultivo regional y de relativo bajo consumo, a un pseudograno de gran importancia al punto que ha incursionado en nuevos mercados nacionales e internacionales, de una manera que tanto la ingesta por persona/año se ha incrementado sobre todo en los países andinos, así como los niveles de exportación de granos de quinua de países como Bolivia sobrepase hoy los 70 millones de dólares y del Perú más de 25 millones de dólares, estando su consumo actual, popularizado a nivel global.

En cada uno de estas diferentes etapas de la investigación el cultivo de la quinua se ha reconocido por su alta biodiversidad genética y su potencial de adaptación a diferentes medios ambientes, considerándosele como el “grano de oro” en la alimentación y nutrición a nivel global, lo que ha dado como motivo a la propuesta del gobierno de Bolivia para que las Naciones Unidas declarase la celebración del Año Internacional de la quinua, el año 2013.

#### Referencias

Bertonio, L. (1879). Vocabulario de la lengua aimara. Leipzig, Ed. Facsímil de la primera edición, 1612

Bollaert, W. (1860). Antiquarian ethnological and other researches in New Granada, Equador, Peru and Chile.

Cárdenas, Martín, (1944). Descripción preliminar de

las variedades de *Chenopodium quinoa*. de Bolivia. Revista Agricultura (Cochabamba). 2 (2) 13-26.

Cárdenas, Martín, (1969), Manual de Plantas económicas de Bolivia. Editorial Icthus, Cochabamba, Bolivia.

Canahua, Alipio, et. al. (2002). - Et al. Gestión del Espacio agrícola (aynoca) y agro biodiversidad en papa (*Solanum spp*) y Quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en las comunidades campesinas de Puno. En Sepia IX, Puno, Perú

Cobo, Bernabé. 1945 (1653). Historia del Nuevo Mundo. .Biblioteca de autores Españoles. Editorial Atlas, Madrid.

Cieza de León, P. (1879). La Crónica del Perú. 1. Edición Vedia, Historiadores primitivos de las Indias. Madrid, Tomo II.

Freere, M., J.Q. Rijks y J. Rea. (1975). Estudio agroclimático de la zona andina. FAO, UNESCO, OMM. . Roma.

FAO, (1992). Cultivos Marginados, otra perspectiva de 1492. Editores J.E. Hernandez y J. Leon. Roma, Italia.

Garcilazo de la Vega, Inca. 1945 (1605). Comentarios reales de los Incas. Segunda Edición EMECE Editores. Buenos aires.

Gandarillas, Humberto. (1967). Distribución de quinuas sin saponina y granos grandes. Sayaña 2, 6-7. (Bolivia).

Gandarillas, Humberto, (1968). Razas de Quinua. Boletín Experimental # 34. Ministerio de Agricultura, La Paz, Bolivia.

Herrera, Fortunato, (1941). Sinopsis de la Flora del

Cusco. Lima, Perú.

Hunziker, Armando (1952). Los pseudo cereales de la Agricultura Indígena de América.. ACME AGENCY. Buenos Aires, Argentina.

Jacobsen, Sven, (2013). Avances en la Investigación en Quinua, En: IV Congreso Mundial de la Quinua, Ibarra, Ecuador.

Latcham R. E. (1936). La Agricultura precolombina en Chile y los países vecinos, Santiago de Chile

Mechoni, A. (1747). Vida del venerable Padre Juan José Guillermo. Biblioteca Hispano Chilena. Tomo II, pag.. 92.

Mujica, Ángel y S. Jacobsen. (2006). La Quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y sus parientes silvestres. Botánica Económica de los Andes Centrales. La Paz, Bolivia.

National Research Council, (1989). The lost Crops of the Incas. National Academy Press. Washington. D.C.

Núñez, L. (1970). La Agricultura prehistórica en los Andes Meridionales. Editorial Universidad del Norte. Chile.

Pulgar Vidal Javier, (1954). La Quinua o Suba en Colombia. Bogotá, Colombia.

Risi, Juan, (1994). Los sistemas agropecuarios andinos. Historia presente y perspectivas. En: VIII Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos, Valdivia, Chile

Towle M. (1961) The Ethnobotany of precolombian, Chicago. USA

Wilson, H.D.(1990), Quinua and Relatives. Economic Botany 44: 92-110.

Tapia, Mario. et. al. (1979). La Quinua y Kañiwa, Granos Andinos IICA-CIID, Bogotá, Colombia.

Tapia, Mario. (1996). Eco desarrollo en los Andes. Fundación Friedrich Ebert, Lima Perú.

Toro, Emilio. (1971). Estudio de especies y variedades de Quinua en el Perú. Revista de la Universidad Nacional del Altiplano, Numero 4. Puno Perú.

Risi, Juan. (1994). Los sistemas agropecuarios andinos: historia presente y perspectivas, En el VIII Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos, Valdivia, Chile

Wahli, Christian. (1990). Quinua, hacia su cultivo comercial. Latinreco, Quito. Ecuador

Uhle, M. (1919), La Arqueología de Arica y Tacna. Boletín de la Sociedad Ecuatoriana de Estudios Históricos, Quito. Ecuador.



PARTE 1.  
BOTÁNICA,  
DOMESTICACIÓN  
Y CIRCULACIÓN  
DE RECURSOS  
GENÉTICOS





## CAPÍTULO 1.1

## TÍTULO: BOTÁNICA, FILOGENIA Y EVOLUCIÓN

\*Autor para correspondencia: Eric JELLEN <jellen@byu.edu>

Autores:

ERIC N. JELLEN<sup>a</sup>, PETER J. MAUGHAN<sup>a</sup>, FRANCISCO FUENTES<sup>b</sup>, BOZENA A. KOLANO<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Universidad Brigham Young, Departamento de Ciencias Botánicas y de Vida Silvestre, Provo, Utah, 84602, EE.UU.

<sup>b</sup>Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Arturo Prat, Avenida Arturo Prat 2120, Iquique, Chile.

<sup>c</sup>Departamento de Anatomía y Citología Vegetal de la Universidad de Silesia, Jagiellonska 28, 40-032, Katowice, Polonia

## Resumen:

La quinua (*Chenopodium quinoa*,  $2n = 4x = 36$ ) es un cultivo de semilla andina que pertenece a un complejo de taxones alotetraploides que incluye formas silvestres, invasivas y domesticadas de todas las Américas templadas y subtropicales. La quinua probablemente fue domesticada a 3.500+ metros sobre el nivel del mar en la cuenca interior del lago Titicaca. Inicialmente el cultivo fue domesticado y experimentó una selección prolongada en un ambiente extremadamente adverso con respecto al estrés abiótico (exceptuado el calor), pero relativamente leve en términos de estrés biótico. Posteriormente, el cultivo de quinua se extendió a través de los valles andinos del centro y centro-norte y hacia el sur hasta la zona de la costa de la Araucanía y la Patagonia adyacente, diversificándose en el proceso en sus cinco ecotipos principales: Altiplano, Salar, Valle, Costa, y Yunga. La biodiversidad de la quinua probablemente sufrió como resultado de 400 o más años de abandono y estigmatización cultural post-conquista. La evidencia reciente proporcionada por la hibridación in situ y estudios filogenéticos empleando marcadores moleculares genéticos y secuenciación de ADN, sumado a informes anteriores a partir de estudios de isoenzimas y de hibridación entre taxones, confirman que los alotetraploides pueden

ser considerados como una sola especie biológica. Es fundamental entender esto, porque la quinua está al borde de convertirse en un cultivo comercial internacional, objeto de producción a gran escala en ambientes subtropicales de tierras bajas donde las presiones de enfermedades y plagas de insectos están actualmente albergados en hospedantes alternativos (es decir, las malezas cosmopolitas *C. album* y *C. murale*). Los fitomejoradores y patólogos de la quinua tendrán que descubrir, transferir y desplegar alelos defensivos que ya deben estar presentes en sus taxones hermanos, en particular la maleza ecológicamente diversa de América del Norte *C. berlandieri*, en previsión de estas amenazas.

## Introducción.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.,  $2n = 4x = 36$ ) es una planta dicotiledónea de cultivo sudamericano cuya semilla se ha disparado en popularidad como un alimento durante los últimos 30 años, sobre todo en Europa y América del Norte, pero también en la región andina. Esto se ha debido en parte a factores tales como el aumento de la popularidad de las dietas vegetarianas, un aumento en el diagnóstico de la intolerancia al gluten en la dieta o la enfermedad celiaca, y la creciente conciencia sociopolítica y



orgullo con respecto a la cultura y patrimonio indígena andina en América del Sur. La semilla de la quinua, al ser debidamente manejada para eliminar las saponinas amargas en el pericarpio, tiene un sabor suave y se puede consumir en muchas de las mismas maneras que los granos de los cereales - de ahí la clasificación de la quinua como un pseudocereal o pseudograno. Sin embargo, el contenido de proteína de las semillas de la quinua es comparable a las más altas variedades de trigo, mientras que tienen un perfil de aminoácidos más favorable y carecen de las proteínas glutinosas de las semillas de este último.

Además de tener características nutricionales favorables, el acervo génico del germoplasma de *C. quinoa* incluye ecotipos halófitos y xerófitos - sobre todo las quinuas "Reales" de alta calidad de la región de los Salares del Altiplano sur. Esta zona tiene un promedio de 150 mm de precipitación anual y se encuentra en o por encima de 3.700 metros de elevación. Estos mecanismos de tolerancia al estrés abiótico extremo llaman la atención de los investigadores que buscan aumentar la producción agrícola en zonas áridas, salinas, de tierras altas, y otros ambientes marginales. Sin embargo, las variedades de quinua adaptadas a las muy altas elevaciones de los Andes han tenido que adquirir resistencia biótica a un espectro relativamente estrecho de plagas de insectos, bacterias y hongos, más notablemente el patógeno mildiú vellosa *Peronospora farinosa* pv. *chenopodii*. Lo mismo podría decirse de las variedades de quinua de la región costera de tierras bajas geográficamente aisladas de Chile. Con el inicio de la producción extensa de quinua en nuevas regiones y en particular en zonas del hemisferio oriental, donde tiene parientes cercanos que son malezas generalizadas - por ejemplo, *C. album*, *C. strictum*, y *C. murale* - existe una amenaza sustancial de que los agentes patógenos y plagas de las especies relacionadas encontrarán a los grandes campos de quinua -genéticamente uniformes y por desgracia uniformemente susceptibles - especialmente tentadores.

El propósito principal de este capítulo es identificar los germoplasmas de mayor interés como recursos genéticos primarios y secundarios para el mejoramiento de la quinua. También revisaremos la evidencia que apoya las relaciones genéticas entre la quinua y estos parientes. Esperamos que esta

información pueda inspirar a las organizaciones internacionales de conservación de recursos fitogenéticos a tomar nota de la importancia de la conservación de la quinua y sus parientes silvestres más cercanos y también ayudar a guiar los esfuerzos de recolección y preservación existentes y futuros.

## Historia y Antecedentes Botánicos

La domesticación sudamericana de la quinua ha sido impulsada por las culturas antiguas y modernas a lo largo de los Andes, y tal vez en las zonas que los bordean, durante un período de por lo menos 5.000 años, de tal manera que hoy en día incluye formas que van desde los tipos de semi-maleza a variedades comerciales de alto rendimiento y calidad (Jacobsen 2003; Mujica, 2004). La diversidad de la quinua andina se ha asociado con cinco ecotipos principales: Altiplano (Perú y Bolivia), Valles inter-andinos (Colombia, Ecuador y Perú), Salares (Bolivia, Chile y Argentina), Yungas (Bolivia), y Zonas Costera/Tierras bajas (Chile); los germoplasmas en cada una de estos sub-centros de diversidad asociados se asumen comúnmente como descendientes de un acervo génico central de las variedades locales domesticadas en la cuenca del Lago Titicaca (Risi y Galwey, 1984).

Inicialmente, el centro de la diversidad genética de la quinua fue identificado en el altiplano del sur de Bolivia (Gandarillas, 1979; Wilson, 1988). Posteriormente, Christensen *et al.* (2007), utilizando enfoques moleculares (marcadores SSR), sugirió que el centro de la diversidad genética fue la zona del altiplano entre Perú y Bolivia (altiplano andino central). Sus datos moleculares también revelaron la diversidad relativamente limitada del germoplasma de quinua de Ecuador y Argentina, aunque esto podría haber sido un artefacto debido al pequeño número de muestras disponibles, así como el potencial de severos cuellos de botella históricos relacionados con la limitada conservación de germoplasma in situ en esas áreas. Los datos de Christensen *et al.* (2007) indicaron que el punto de entrada más probable de las accesiones ecuatorianas fue la región del altiplano de Perú y Bolivia, mientras que las variedades argentinas se originaron en el altiplano chileno (norte) y las zonas costeras/tierras

bajas (sur de Chile). Además, Christensen *et al.* (2007) destacaron las diferencias entre las accesiones costeras/tierras bajas de Chile y las del altiplano norte del Perú, confirmando la hipótesis propuesta por Wilson (1988) que las quinuas de Chile son más similares a las quinuas del altiplano sur de Bolivia.

Sin embargo, Fuentes *et al.* (2009a), a partir de la evaluación de la diversidad genética en un amplio número de accesiones chilenas usando marcadores SSR, informó que el germoplasma costero/tierras bajas chileno era mucho más diverso genéticamente que lo que se creía previamente. Este hallazgo es consistente con un sistema de polinización cruzada en los campos de quinua costero/tierras bajas con poblaciones de las malezas *C. album* y/o *C. hircinum* - muy probablemente el último, ya que la mayoría de *C. album* es hexaploide ( $2n = 6x = 54$ ) y, por lo tanto, produciría progenie 5 x estéril, mientras que *C. hircinum* comparte el mismo genoma tetraploide de *C. quinoa* - y está conforme con la dificultad que tienen los fitogenetistas de quinua costera/tierras bajas en la obtención de nuevas variedades puras, en el centro-sur de Chile (I. y E. von Baer, comunicación personal). Tomados en conjunto, los análisis recientes con bases genéticas son consistentes para afirmar que hasta ahora la quinua en sí ha existido como dos acervos génicos distintos: La quinua del altiplano andino con su complejo de malezas asociadas (quinua 'ajara' o 'ashpa', *C. quinoa* ssp. *milleanum* Aellen, también conocida como *C. quinoa* var. *melanospermum* Hunziker); y quinua costera/tierras bajas del centro y sur de Chile ('kinwa' o 'dawe' entre el pueblo mapuche que vive al sur del río Bio Bio), lo que representa un segundo centro de gran diversidad de la quinua (Jellen *et al.*, 2011). Sin embargo, los más recientes datos de diversidad basados en microsatélites provenientes del noroeste de Argentina (Costa Tártara *et al.*, 2012) indican que una cantidad de diversidad mucho mayor a la previamente conocida está presente en las quinuas de la Precordillera y las tierras bajas subtropicales del este que bordean el Gran Chaco y la Pampa. Este estudio también destaca posibles patrones de movimiento de germoplasma de quinua antiguo y moderno en la región de Bolivia-Argentina-Chile.

La evidencia molecular reciente sugiere que la erosión genética - la pérdida de la diversidad genética - se ha visto afectada por lo menos por cuatro eventos

de cuello de botella genéticos (Jellen *et al.* 2011; Fuentes *et al.*, 2012). El primero y más grave de ellos se habría producido en el paso de la poliploidización inicial cuando los dos ancestros diploides de la quinua se hibridaron. Posteriormente, el segundo evento ocurrió cuando la quinua fue domesticada a partir de sus parientes tetraploides silvestres a través de largos ciclos de intercambio de semillas y cultivo en nuevos territorios y climas. El tercer evento se puede considerar un cuello de botella sociológico, que comenzó hace más de 400 años durante la época de la conquista española, cuando la quinua fue estigmatizada culturalmente como alimento para las comunidades rústicas indígenas (Cusack, 1984). La historia reciente de la quinua sugiere un cuarto evento de cuello de botella causado por la migración humana de las zonas rurales de los altos Andes a los centros urbanos y las regiones de cultivo de coca de la precordillera oriental, dando lugar a campos de quinua abandonados y la pérdida de germoplasma de quinua (Fuentes *et al.* 2012).

Cuando la quinua fue clasificada originalmente por Willdenow en 1797, se suponía que era la única especie domesticada del género en el Nuevo Mundo. En 1917, otros tetraploides de *Chenopodium* cultivados fueron descubiertos en Mesoamérica (Wilson y Heiser, 1979). Estas plantas fueron clasificadas originalmente por Safford como *C. nuttalliae* y consistían en tres cultígenos diferentes: *huauzontle* - una inflorescencia vegetal; *chia roja*, un cultivo de semillas; y *quelite*, una forma semi-maleza que se utiliza como verdura de hoja. Han sido reclasificados en varias ocasiones, incluido un período en el que se les consideraba coespecíficos con la quinua. Estas formas se clasifican actualmente como parte del complejo de *C. berlandieri*, comúnmente conocido como *C. berlandieri* var. *nuttalliae* (Wilson y Heiser, 1979). Además de los cultígenos *nuttalliae*, *C. berlandieri* incluía a un domesticar Norteamericano extinto, subsp. *jonesianum*, conocido por restos bien caracterizados en un número de sitios arqueológicos del Cinturón de Encina-Nogal Sabana/Bosque y se ha formulado la hipótesis de que fue suplantado como un cultivo durante el primer milenio de nuestra era por el complejo de cultivos de maíz-frijol-calabaza que se desplazaba hacia el norte (Smith y Funk, 1985; Smith y Yarnell, 2009). Kistler y Shapiro (2011) analizaron secuencias de ADN del cloroplasto (cpDNA) de domesticares

norteamericanos antiguos y mexicanos modernos, junto con muestras silvestres de *C. berlandieri* del este y del oeste de América del Norte. Sus datos demostraron que las variedades de los Bosques del Este fueron domesticadas independientemente de los tipos *nuttalliae* en México. En consecuencia, tres domesticaciones independientes del “complejo de la quinua” alotetraploide del Nuevo Mundo deben ser ampliamente reconocidos ahora: uno en los Bosques del Este, de América del Norte, un segundo en Mesoamérica, y un tercero (quinua) en la región andina (Kistler y Shapiro, 2011).

Desde que la investigación genética sobre la quinua comenzó sistemáticamente a finales de la década de 1970, se ha dado por sentado que la quinua se originó en América del Sur a partir de diploides que hibridaron en la antigüedad en el altiplano andino. Las especies candidatas incluyeron *C. pallidicaule* Aellen (Kanawa), *C. petiolare* Kunth, y *C. carnosolum* Moq., así como especies de malezas tetraploides de América del Sur, tales como *C. hircinum* Schard, o *C. quinoa* var. *melanospermum* (Mujica y Jacobsen, 2000). Una hipótesis alternativa, originalmente planteada por Wilson y Heiser (1979), es que la quinua es descendiente del tetraploide *C. berlandieri* en América del Norte. Sin embargo, cuando el complejo mexicano de *C. berlandieri* fue descrito, se consideró coespecífico con la quinua. Una hipótesis popular es que *C. quinoa* es descendiente de tetraploides tempranos de *C. berlandieri* vía *C. hircinum* y que los tetraploides mexicanos domesticados descienden de *C. berlandieri* var. *sinuatum*. Esta hipótesis ha sido apoyada por diversos estudios basados en la morfología, cruces experimentales, isoenzimas y análisis genético (Heiser y Nelson 1974; Wilson y Heiser, 1979; Wilson 1980; Walters 1988; Maughan *et al.*, 2006). Si esta hipótesis es correcta, implica que el progenitor tetraploide norteamericano salvaje viajó a América del Sur a través de la migración humana o más probablemente, por la dispersión de aves a larga distancia (endozoocoria), probablemente como *C. hircinum*, y fue domesticado posteriormente como quinua (Wilson, 1990).

Los estudios arqueobotánicos basados en los patrones de la morfología de semillas y las frecuencias de *C. quinoa* y su complejo de malezas asociado han mostrado interesantes perspectivas para apoyar la hipótesis de Wilson. Los estudios realizados por

Bruno y Whitehead (2003) han arrojado luz sobre algunos de los procesos que contribuyeron al desarrollo de los sistemas agrícolas entre 1.500 AC y 100 DC en la cuenca sur del Lago Titicaca (Bolivia). Los resultados de este estudio sugieren que durante el período Formativo Temprano, los agricultores mantuvieron pequeños huertos donde se cultivaban y se cosechaban tanto las especies de cultivos como las de malezas. Sin embargo, alrededor del año 800 A.C. apareció una drástica disminución en la frecuencia de las semillas de malezas en comparación con las semillas de quinua, revelando un cambio significativo en el manejo y uso de cultivos. Esta última observación sugiere que los agricultores del período Formativo Medio se convirtieron en agricultores más meticulosos de la quinua, quizás a través de la escarda, la cuidadosa selección de semillas y la creación de campos formales para el cultivo.

Con el creciente número de estudios genéticos de *Chenopodium*, se acumulan progresivamente más datos en relación a los probables ancestros tetraploides y diploides de la quinua y la filogenia correcta de su género. Como se menciona más adelante, la evidencia de los estudios citogenéticos utilizando hibridación fluorescente in situ (FISH por sus siglas en inglés) con la secuencia repetitiva 18-24J específica al subgenoma de la quinua indica que esta especie comparte un genoma en común con *C. berlandieri* y *C. album* de Eurasia (Kolano *et al.*, 2011). La secuenciación de los genes rARN previamente verificaba la estrecha relación entre *C. berlandieri* y *C. quinoa* (Maughan *et al.*, 2006). Una reciente serie de estudios en curso relacionados con la secuenciación comparativa de los genes nucleares de bajo número de copias (es decir, *SOS1*, *GLN-1*, *GBSSI*, *FTL2*) y secuencias del cloroplasto (es decir, espaciador *trnH-psbA*) indican que los dos ancestros diploides de la quinua provenían del centro de América del Norte y Eurasia, con el ancestro del Nuevo Mundo siendo el donante de citoplasma (E. Jellen, B. Walsh, E. Emshwiller y H. Storchova, comunicación personal).

### Taxonomía

Hemos observado una tendencia entre algunos programas de germoplasma de quinua de América del Sur de recoger y preservar todos y cada uno de los taxones silvestres o malezas etiquetadas

históricamente como *Chenopodium* en la región - con poca consideración de la capacidad real del taxón para servir como una fuente de genes para la mejora de la quinua. Por ejemplo, mientras que la hierba *paico* o *epazote* (*Dysphania ambrosioides*, anteriormente *Chenopodium ambrosioides*) tiene interesantes propiedades medicinales y culinarias, probablemente es inútil como un recurso genético de la quinua, dado que los dos taxones tienen diferentes números de cromosomas de base de  $x = 8$  frente  $x = 9$  para *paico* y la quinua, respectivamente. Del mismo modo, otra especie de América del Sur, que tradicionalmente se clasificaba como *C. incisum* pero sinónimo con *Dys. graveolens*, tiene el mismo número de cromosomas de base que *paico*. Incluso las colecciones de especies exóticas *C. murale* (ahora *Chenopodiastrum murale*) son de dudoso valor a la luz de la creciente evidencia (abajo) de que ésta no es más que un pariente lejano de *C. quinoa*.

Fuentes-Bazan (2012a & b) realizaron dos estudios moleculares a escala macro de la sistemática de Chenopodiaceae y *Chenopodium* utilizando ITS nucleares y secuencias *trnL-F* y *matK/trnK* del cloroplasto y proporcionaron pruebas que apoyan la división de este género grande y problemático en siete géneros: *Chenopodium* (incluyendo los complejos de *C. quinoa* y *C. album*); *Chenopodiastrum* (incluyendo *C. murale* y *C. hybridum*); *Oxybasis* (incluyendo *C. glaucum*, *C. rubrum*, y *C. urbicum*); *Lipandra* (incluyendo *C. polyspermum*); *Blitum* (incluyendo *C. capitatum* y *C. bonus-henricus*); *Dysphania* (anteriormente propuesto por Mosyakin y Clemants en 1996, 2002 y 2008), y *Teloxys* (incluyendo *C. aristatum*). Este sistema taxonómico simplifica enormemente la discusión actual de la taxonomía de *Chenopodium*, porque así podemos enfocarnos más en las especies de mayor interés como potenciales recursos genéticos para la mejora de *C. quinoa*. Un resumen de la taxonomía revisada de *Chenopodium* se proporciona en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Denominaciones de especies revisadas de *Chenopodium*, incorporando las propuestas de Fuentes-Bazan *et al.* (2012a & b). Los taxones autorizados según identificados en el Sistema Integrado de Identificación Taxonómica (ITIS, [www.itis.gov/index.html](http://www.itis.gov/index.html)) están señalados en **negrita**. La lista no incluye taxones previamente reasignados a los géneros *Dysphania* y *Teloxys*.

Taxón <i>Chenopodium</i>	Designación revisada	Hábito	Origen
<i>acuminatum</i> Willd.		Maleza	Eurasia
<i>albescens</i> Small		Silvestre	América del norte
<b><i>album</i> L.</b>		Maleza, domesticada	Eurasia
<i>atripliciforme</i> Murr.		Silvestre	Eurasia
<b><i>atrovirens</i> Rydb.</b>		Silvestre	América del norte
<i>auricomiforme</i> Murr. & Thell.		Silvestre	Australia
<i>auricomum</i> Lindl.		Silvestre	Australia
<i>badachschanicum</i> Tzelev	<i>Chenopodiastrum badachschanicum</i> (Tzelev) S. Fuentes, Uotila & Borsch	Silvestre	Eurasia
<b><i>berlandieri</i> Moq.</b>		Maleza, silvestre, domesticada	América del norte
<b><i>bonus-henricus</i> L.</b>	<i>Blitum bonus-henricus</i> (L.) Rchb.	Maleza, silvestre	Eurasia
<i>borbasii</i> Murr.		Maleza	América del sur
<i>bryonifolium</i> Bunge		Silvestre	Eurasia
<b><i>bushmanum</i> Aell.</b>		Maleza, silvestre	América del norte

<b><i>californicum</i> (S. Wats) S. Wats.</b>	<i>Blitum californicum</i> S. Watson	Silvestre	América del norte
<b><i>capitatum</i> (L.) Ambrosi</b>	<i>Blitum capitatum</i> L.	Silvestre	América del norte
<b><i>carnosolum</i> Moq.</b>		Maleza	América del sur
<i>chaldoranicum</i> Rahimin. & Ghaemm.		Silvestre	Eurasia
<b><i>chenopodioides</i> (L.) Aell.</b>	<i>Oxybasis chenopodioides</i> (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch	Maleza	América del sur
<i>cordobense</i> Aell.		Silvestre	América del sur
<i>crusoeanum</i> Marticorena		Silvestre	Juan Fernández
<i>curvispicatum</i> P.G. Wilson		Silvestre	Australia
<b><i>cycloides</i> A. Nels.</b>		Silvestre	América del norte
<i>desertorum</i> J.M. Black		Silvestre	Australia
<b><i>desiccatum</i> A. Nels.</b>		Maleza, silvestre	América del norte
<i>detestans</i> T.W. Kirk		Maleza, silvestre	Nueva Zelandia
<i>erosum</i> R. Br.		Silvestre	Australia
<b><i>ficifolium</i> Sm.</b>		Maleza, silvestre	Eurasia
<b><i>foggii</i> Wahl</b>		Silvestre	América del norte
<b><i>foliosum</i> (Moench) Aschers.</b>	<i>Blitum virgatum</i> L.	Maleza	Eurasia
<b><i>fremontii</i> S. Wats.</b>		Silvestre	América del norte
<i>frigidum</i> Phil.		Maleza, silvestre	América del sur
<i>giganteum</i> D. Don		Maleza, domesticada	Eurasia
<b><i>glaucum</i> L.</b>	<i>Oxybasis glauca</i> (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch	Maleza, silvestre	Eurasia
<i>gracilispicum</i> H.W. Kung		Silvestre	Eurasia
<b><i>hians</i> Stand.</b>		Silvestre	América del norte
<b><i>hircinum</i> Schrad.</b>		Maleza	América del sur
<b><i>humile</i> Hook.</b>	( <i>Oxybasis rubra</i> var. <i>humile</i> ?)	Maleza, silvestre	América del norte
<i>hybridum</i> L.	<i>Chenopodiastrum hybridum</i> (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch	Silvestre	Eurasia
<i>iljinii</i> Gol.		Silvestre	Eurasia
<b><i>incanum</i> (S. Wats.) Heller</b>		Silvestre	América del norte
<i>karo</i> (Murr.) Aell.		Maleza, silvestre	Eurasia
<i>korshinskyi</i> (Litv.) Minkw.	<i>Blitum korshinskyi</i> Litv.	Silvestre	Eurasia
<b><i>leptophyllum</i> (Moq.-Tand.) Nutt. Ex S. Wats.</b>		Silvestre	América del norte
<i>litwinowii</i> (Paul.) Uotila	<i>Blitum litwinowii</i> (Paul.) S. Fuentes, Uotila & Borsch	Silvestre	Eurasia
<b><i>macrospermum</i> Hook. f.</b>	<i>Oxybasis macrosperma</i> (Hook. f.) S. Fuentes, Uotila & Borsch	Maleza, silvestre	América del sur

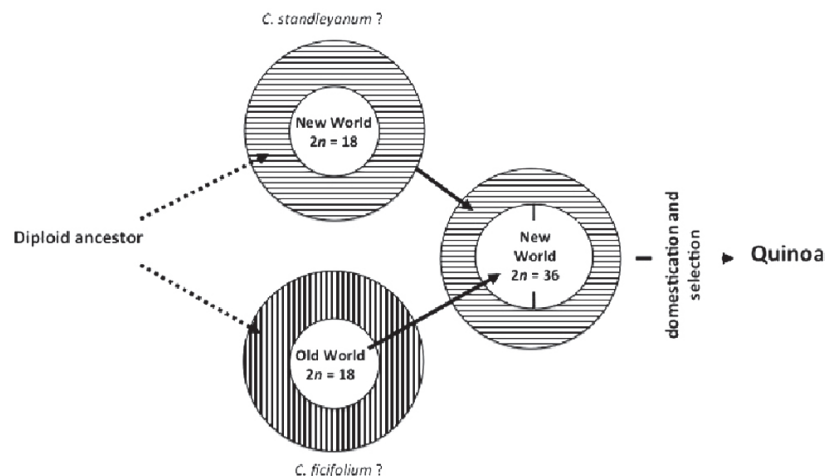


<b><i>murale</i> L.</b>	<i>Chenopodiastrum murale</i> (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch	Maleza	Eurasia
<b><i>neomexicanum</i> Stand.</b>		Silvestre	América del norte
<b><i>nevadense</i> Standl.</b>		Silvestre	América del norte
<i>nitrariaceum</i> (F. Muell.) F. Muell. ex Benth.		Silvestre	Australia
<i>novopokrovskyanum</i> (Aell.) Uotila		Maleza, silvestre	Eurasia
<b><i>oahuense</i> (Meyen) Aell.</b>		Silvestre	Hawai
<i>obscurum</i> Aell.		Silvestre	América del sur
<b><i>opulifolium</i> Schrad. ex Koch &amp; Ziz</b>		Maleza	Eurasia
<b><i>overi</i> Aell.</b>	<i>Blitum hastatum</i> Rydb.	Silvestre	América del norte
<b><i>pallescens</i> Stand.</b>		Silvestre	América del norte
<b><i>pallidicaule</i> Aell.</b>		Maleza, domesticada	América del sur
<i>pamiricum</i> Iljin		Silvestre	Eurasia
<i>papulosum</i> Moq.		Maleza, silvestre	América del sur
<i>parodii</i> Aell.		Silvestre	América del sur
<i>petiolare</i> Kunth		Maleza, silvestre	América del sur
<i>philippianum</i> Aell.		Maleza, silvestre	América del sur
<i>pilcomayense</i> Aell.		Silvestre	América del sur
<b><i>polyspermum</i> L.</b>	<i>Lipandra polysperma</i> (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch	Maleza	Eurasia
<b><i>pratericola</i> Rydb.</b>		Silvestre	América del norte
<b><i>quinoa</i> Willd.</b>		Maleza, domesticada	América del sur
<b><i>rubrum</i> L.</b>	<i>Oxybasis rubra</i> (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch	Maleza	Eurasia
<i>ruiz-lealii</i> Aell.		Silvestre	América del sur
<b><i>salinum</i> Stand.</b>	( <i>Oxybasis salina</i> ?)	Maleza, silvestre	América del norte
<i>sancta-clarae</i> Johow		Silvestre	Juan Fernández
<i>sancti-ambrosii</i> Skottsb.		Silvestre	San Ambrosio y San Félix
<i>scabricaule</i> Speg.			
<b><i>standleyanum</i> Aell.</b>		Maleza, silvestre	América del norte
<b><i>strictum</i> Roth.</b>		Maleza	Eurasia
<b><i>subglabrum</i> (S. Wats.) A. Nels.</b>		Silvestre	América del norte
<i>suecicum</i> Murr.		Maleza	Eurasia
<b><i>urbicum</i> L.</b>	<i>Oxybasis urbica</i> (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch	Maleza	Eurasia
<b><i>vulvaria</i> L.</b>		Maleza	Eurasia
<b><i>watsonii</i> A. Nels.</b>		Maleza, silvestre	América del norte

## Citogenética.

La quinua es una especie tetraploide con  $2n = 4x = 36$  cromosomas. Como se mencionó anteriormente, la creciente evidencia apunta a *C. standleyanum* y *C. ficifolium* como los progenitores-diploides putativos que donaron los genomas A del Nuevo Mundo- y B del Viejo Mundo, respectivamente, al complejo tetraploide que incluye *C. quinoa*. Estas especies presumiblemente se cruzaron antiguamente, produciendo un híbrido que posteriormente se convirtió en fértil cuando sus cromosomas se duplicaron - quizás debido al mecanismo de polisomatia (descrito a continuación) en los órganos florales en desarrollo (Figura 1). El número tetraploide de cromosomas fue observado en formas domesticadas y de malezas estrechamente relacionadas a *C. berlandieri* y *C. hircinum* (Wilson 1988c; Maughan *et al.* 2006). La otra especie de *Chenopodium* cultivada en Sudamérica, *C. pallidicaule*, es un diploide ( $2n = 2x = 18$ ), mientras que la mayoría de las *Chenopodiáceas* cultivadas o semi-cultivadas de Eurasia presenten números hexaploides de cromosomas ( $2n = 6x = 54$ ; *C. album*, *C. giganteum*, *C. formosanum* - Kolano *et al.* 2012b). Las especies de *Chenopodium* tienen, por lo general, cariotipos simétricos con pequeños cromosomas meta- o submetacéntricos (Bhargava *et al.* 2006; Palomino *et al.* 2008). Por lo tanto, es muy difícil identificar los cromosomas y el

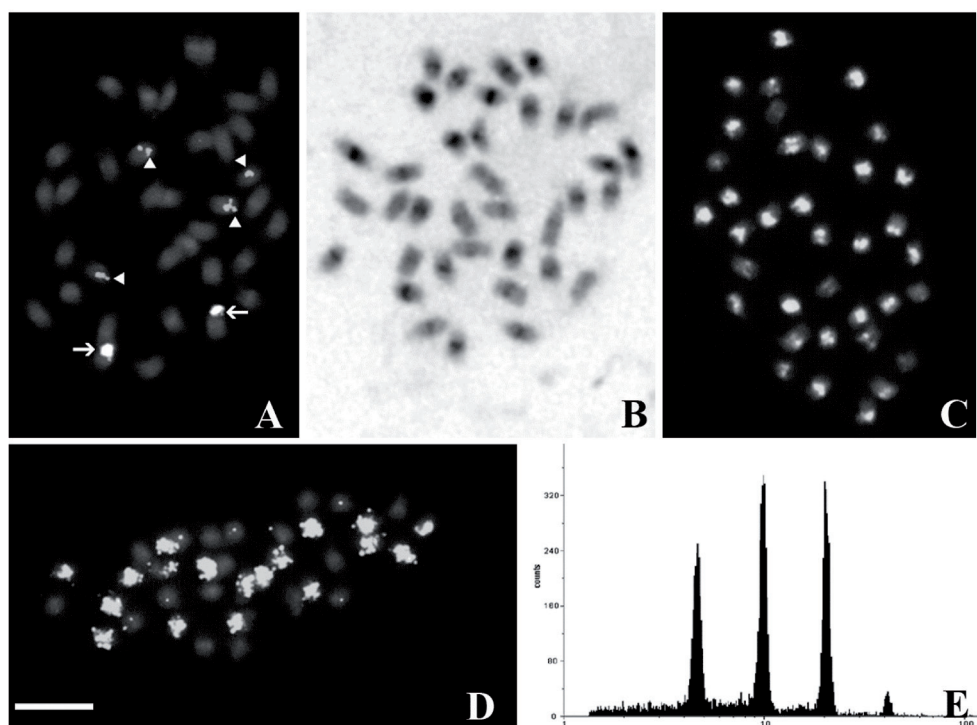
estudio de la organización del genoma, por lo que la caracterización citogenética de cariotipos de *Chenopodium* ha sido limitada. Una debilidad seria del análisis de cariotipo de *C. quinoa* es la escasez de marcadores cromosómicos. Hasta ahora sólo los genes ARNr parecen ser marcadores citológicos adecuados para los cromosomas de quinua. Los loci del gen 35S del ARN fueron colocados en la parte terminal de dos cromosomas (flechas figura 2A). Los 5S ADNr se organizaron en dos pares de loci - uno de ellos se encuentra en posición terminal y el otro en posición intersticial en dos pares de cromosomas diferentes (puntas de flecha Fig. 2A; Maughan *et al.* 2006). Del mismo modo, sólo unos pocos loci de ARNr fueron asignados en el cariotipo de *C. berlandieri*, que tenían uno o dos pares de loci 35S ADNr y dos o tres pares de 5S ADNr loci, en función de la adhesión. Todos los loci de ADNr se localizan en los cromosomas terminales (Maughan *et al.*) En los cariotipos de *C. quinoa* y *C. berlandieri* los loci 35S rDNA co-localizaron con cromatina rica en GC teñida con chromomicina A3 (Kolano *et al.* 2001; Kolano *et al.* no publicado). Las secuencias de telómeros son las otras repeticiones funcionales en tándem en los genomas de las plantas. La quinua y otras *chenopodiáceas* estudiadas tienen repeticiones telómericas del tipo *Arabidopsis* localizadas exclusivamente en la posición terminal en cada brazo del cromosoma (Kolano, no publicado).



**Figura 1:** Representación esquemática del evento de alopoliploidización en la evolución de la quinua.

En los cromosomas de la quinua la heterocromatina se encuentra alrededor de los centrómeros, como se demostró mediante bandeo C (Fig. 2B; Kolano *et al.* no publicado). El patrón observado en cromosomas de *C. quinoa* después del bandeo C se parecía a la distribución de señales observada después de la hibridación fluorescente *in situ* (FISH) con el clon 12-13P, lo que sugiere que la secuencia de 12-13P constituye una parte importante de la heterocromatina de *C. quinoa* (Fig. 2C; Kolano *et al.* 2011). Esta secuencia repetitiva mostró homología parcial de ADN satélite (pBC1447) detectada cerca del centrómero de los cromosomas de *Beta*

*corolliflora* (Gao *et al.* 2000). Se observaron señales de hibridación de 12-13P en cada cromosoma de *C. quinoa*, sin embargo, la intensidad de las señales de FISH difirió considerablemente entre los cromosomas, lo que indica que hay un número variable de repeticiones 12-13P en cada locus. La secuencia 12-13P también hibridó con regiones cromosómicas centroméricas y pericentroméricas del tetraploide norteamericano relacionado *C. berlandieri* y accesiones europeas del hexaploide *C. album*; sin embargo, la intensidad relativa de las señales de hibridación fue menor en este último (Kolano *et al.* 2011).



**Figura 2:** La localización de (A) ADNr 35S (flechas) y loci de ADNr 5S (puntas de flecha) en los cromosomas en metafase de la quinua. Placas de metafase de *C. quinoa* (B) después de bandeo C y después de hibridación fluorescente *in situ* con (C) 12-13P y (D) 18-24J como sonda de ADN. € Histogramas de citometría de flujo típicos (escala logarítmica) de núcleos aislados del hipocótilo de plántulas de quinua de 3 días. Barra de escala = 5 µm

Una localización pericentromérica también fue detectada para retrotransposones mediante la realización del análisis FISH con sondas de ADN para los diferentes fragmentos de retrotransposones LTR que codifican la transcriptasa inversa. Estos estudios indicaron que ambos retrotransposones Ty1-*copia* y Ty3-*gypsy* se localizan preferentemente en la heterocromatina pericentromérica de los cromosomas de la quinua. Otras secuencias



repetitivas dispersas aisladas y caracterizadas en el genoma de la quinua eran clones de pTaq10 y 18-24J. Estos dos clones mostraron una distribución cromosómica dispersa, sin embargo, no eran homólogos a los elementos móviles conocidos. Las señales de hibridación de pTaq10 se observaron como pequeños puntos distribuidos a lo largo de todos los cromosomas sin un patrón de distribución de cromosoma o subgenoma específico (Kolano *et al.* 2008a). La repetición pTaq10 estuvo presente también en el genoma de *C. berlandieri* y mostró una distribución cromosómica dispersa parecida - más pruebas del parentesco entre estas dos especies, sobre todo teniendo en cuenta que no fue detectada en los cromosomas de la forma europea de *C. album*. La segunda repetición dispersa, 24-18J, se hibridó con 18 cromosomas (un subgenoma) de *C. quinoa*, *C. berlandieri* así como *C. album* (Fig. 2D; Kolano *et al.* 2011). Estos resultados apoyan la hipótesis de que *C. quinoa*, *C. berlandieri* y *C. album* comparten al menos un ancestro común. Estudios previos basados en las secuencias NTS de ADNr 5S también apoyaron la hipótesis de que *C. berlandieri* y *C. quinoa* descendieron de al menos un ancestro diploide común (Maughan *et al.* 2006). La distribución de los cromosomas homólogos 18-24J y ADNr sugiere que en estas quenopodiáceas poliploides ocurrió una pérdida uniparental de secuencias de ADNr 35S. En todos estos tres poliploides los loci de ADNr 35S fueron retenidos en el subgenoma al que 18-24J se hibridó abundantemente (Kolano *et al.* 2011).

Las especies de *Chenopodium* tienen un tamaño de genoma más bien pequeño, sin embargo, entre las especies estudiadas, el contenido 1C del ADN nuclear mostró una variación de 7,9 veces, que va desde 0,31 (*C. aristatum* diploide - ahora clasificado como *Teloxys aristata* por Fuentes-Bazan *et al.* 2012a & b) a 2,47 pg en *C. album* hexaploide (Bhargava *et al.* 2007; Palomino *et al.* 2008). Según los informes más recientes se estima que la quinua tiene un tamaño de genoma haploide (valor 1C) de aproximadamente 1,48 -1,62 pg (Bhargava *et al.* 2007; Palomino *et al.*, 2008; Kolano *et al.* 2012a) y la variación intraespecífica limitada del tamaño del genoma (5,9%) se demostró para esta especie (Kolano *et al.* 2012b).

Otro elemento de interés en relación con la

citogenética de la quinua es que *C. quinoa* es una planta polisomática (Kolano *et al.* 2008b). La polisomía se encuentra en muchos órganos de las plántulas de la quinua. Células endopoliploides (células con un valor mayor a ADN 4C) fueron observadas en las raíces, hipocótilo, y en menor medida en los cotiledones. Sin embargo, no estaban presentes en las hojas jóvenes y el ápice del brote (Fig. 1E; Kolano *et al.* 2008b). También se registró polisomía para plántulas de *C. album* así como para otras especies de la familia Amaranthaceae (por ejemplo, *Beta vulgaris* y *Atriplex rosea*; Barow y Meister 2003; Kolano *et al.* 2008b).

### Conservación, perspectivas de fitomejoramiento y conclusiones para parientes silvestres de cultivos

Sobre la base de la acumulación de datos de estudios moleculares y citogenéticos, y a la luz del trabajo anterior en la genética e hibridación por Wilson y sus colaboradores, sostenemos que *C. quinoa* y sus parientes alotetraploides cercanos ya no deben ser considerados, a efectos prácticos, como especies biológicas distintas. Los fitogenetistas de la quinua que tienen la intención de adaptar este cultivo para producción en todo el mundo tendrán que aprovechar alelos para las tensiones bióticas y térmicas de las tierras bajas subtropicales y de zonas templadas a partir de las especies parientes del cultivo - el acervo génico silvestre principal de la quinua: *C. berlandieri* y *C. hircinum*. Incluso los fitogenetistas de la quinua del altiplano andino deben considerar seriamente estos taxones de tierras bajas como recursos genéticos en anticipación del calentamiento del clima, siendo que el estrés térmico y los organismos de estrés biótico se acercan progresivamente a las regiones tradicionalmente productoras de quinua en el Altiplano Andino. En consideración a la amenaza del calentamiento global, sería prudente que los actores andinos relacionados a la quinua revalúen su adhesión a las restrictivas políticas internacionales de intercambio de germoplasma que pudieran impedir su futura capacidad de acceder al germoplasma tolerante al calor y al estrés biótico del *C. hircinum* de países como Argentina por ejemplo. Tal vez la expansión formalizada del concepto de la especie *C. quinoa* (Willd.) para abarcar *C. berlandieri berlandieri* (quizás como *C. quinoa* subsp. *ancestrale*); *C. nuttalliae berlandieri*

(como *C. quinoa* subsp. *mexicana*); la extinta *C. berlandieri jonesianum* (como *C. quinoa* subsp. *jonesianum*); y *C. hircinum* (como *C. quinoa* subsp. *foetida*) fomentaría tal pensamiento.

Ahora que los acervos genéticos del antepasado diploide de la quinua se están definiendo, es interesante contemplar cómo los fitogenetistas pueden aprovechar estos recursos genéticos secundarios en el futuro. El antepasado putativo del Viejo Mundo, *C. ficifolium*, tiene una distribución muy amplia en toda Eurasia templada y por lo tanto debe albergar una enorme diversidad para la resistencia genética al estrés biótico. También representa un potencial “puente” genético entre la quinua y el tremendamente diverso complejo de especies *C. album* 2x/4x/ 6x, dado que comparten un conjunto de cromosomas que hemos llamado el “genoma B”. Este complejo de especie es nativa o naturalizada en todos los continentes habitados y los principales grupos de islas subtropicales a templadas.

El antepasado putativo del Nuevo Mundo, *C. standleyanum*, es parte de un complejo de taxones diploides que se encuentra en todas las regiones templadas a subtropicales de América del Norte. Hemos confirmado esta similitud genética mediante la secuenciación comparativa de porciones de diversos genes nucleares como *SOS1*, *GLN-1*, y *GBSSI*, junto con regiones del cloroplasto incluyendo el espaciador *TrnH-psbA*, en los siguientes taxones diploides: *C. atrovirens*, *C. desiccatum*, *C. fremontii*, *C. hians*, *C. incanum*, *C. leptophyllum*, *C. neomexicanum*, *C. pratericola*, y *C. watsonii* (B. Walsh, E. Emshwiller, P. Maughan, y E. Jellen, sin publicar). También hemos detectado una estrecha relación genética entre este grupo y dos diploides andinos, *C. pallidicaule* (Kaniwa cultivada) y la especie silvestre *C. petiolare*. Teniendo en cuenta esta diversidad, como en el caso de *C. ficifolium*, debe haber una gran cantidad de variación alélica en este acervo genético con valor para el mejoramiento de la quinua. Posibles características de interés incluyen el carácter utriculado del pericarpio de muchos de estos taxones, incluyendo *C. standleyanum*; la tolerancia al sodio extremo en *C. nevadense*; tolerancia a la sequía extrema en *C. desiccatum*, *C. hians*, *C. incanum*, *C. leptophyllum*, *C. petiolare*, y *C. pratericola* y la tolerancia al calor

extremo en varios de estos taxones de los desiertos Mojave y Sonora. Estos esfuerzos son alentados a partir de observaciones hechas en varios viajes de recolección, sobre todo en el suroeste de los Estados Unidos, donde hemos encontrado enjambres híbridos entre *C. berlandieri* 4x y diploides como *C. incanum* y *C. pratericola* a lo largo de arroyos de arena en temperaturas de 40°+ en julio y agosto. Los fitogenetistas de la quinua deben ser conscientes de las estrategias de introgresión que involucran cruces iniciales de diploides de quinua 4x X 2x, que restringen el vínculo a un solo genoma. Estos enfoques han tenido mucho éxito en la transferencia de genes a partir de diploides muy diversos a cultivos aloploidos como el trigo (Cox *et al.*, 1991).

## Referencias

- Barow, M. y Meister A. (2003) Endopolyploidy in seed plants is differently correlated to systematics, organ, life strategy and genome size. *Plant, Cell and Environment* 26, 571-584
- Bhargava, A., Shukla S. y Ohri D. (2006) Karyotypic studies on some cultivated and wild species of *Chenopodium* (Chenopodiaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution* 53, 1309-1320.
- Bhargava, A., Shukla S. y Ohri D. (2006) Genome size variation in some cultivated and wild species of *Chenopodium* (Chenopodiaceae). *Caryologia* 60, 245-250.
- Bruno, M. y Whitehead W.T. (2003) *Chenopodium* cultivation and formative period agriculture at Chiripa, Bolivia. *Latin American Antiquity* 14, 339-355.
- Christensen, S.A., Pratt D.B., Pratt C., Nelson P.T., Stevens M.R., Jellen E.N., Coleman C.E., Fairbanks D.J., Bonifacio A. y Maughan P.J. (2007) Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers. *Plant Genetic Resources* 5, 82-95.
- Coles, N.D., Coleman C.E., Christensen S.A., Jellen E.N., Stevens M.R., Bonifacio A., Rojas-Beltran J.A.,

- Fairbanks D.J., y Maughan P.J. (2005) Development and use of an expressed sequenced tag library in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for the discovery of single nucleotide polymorphisms. *Plant Sci* 168, 439-447.
- Costa Tártara, S.M., Manifesto M.M., Bramardi S.J. y Bertero H.D. (2012) Genetic structure in cultivated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), a reflection of landscape structure in Northwest Argentina. *Conservation Genetics* 13(4), 1027-1038.
- Cox, T.S., Harrell, L.G., Chen, P., y Gill B.S. (1991) Reproductive behavior of hexaploid-diploid wheat hybrids. *Pl. Breed.* 107, 105-118.
- Cusack, D.F. (1984) Quinoa: grain of the Incas. *Ecologist* 14, 21-31.
- Fairbanks, D.J., Burgener K.W., Robison L.R., Andersen W.R., y Ballon E. (1990) Electrophoretic characterization of quinoa seed proteins. *Plant Breeding* 104, 190-195.
- Fairbanks, D., Waldrigues A., Ruas C.F., Maughan P.J., Robison L.R., Andersen W.R., Riede C.R., Pauley C.S., Caetano L.G., Arantes O.M. Fungaro M.H.P., Vidotto M.C. y Jankevicius S.E. (1993) Efficient characterization of biological diversity using field DNA extraction and random amplified polymorphic DNA markers. *Rev. Brazil. Genet.* 16, 11-22.
- Fuentes, F., Martínez E.A., Hinrichsen P.V., Jellen E.N. y Maughan P.J. (2009) Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conservation Genetics* 10(2), 369-377.
- Fuentes, F., Bazile D., Bhargava A. y Martínez E. A. (2012) Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *The Journal of Agricultural Science* 150(6), 702-716.
- Fuentes-Bazan, S., Mansion G. y Borsch T. (2012a) Towards a species level tree of the globally diverse genus *Chenopodium* (Chenopodiaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 62, 359-374.
- Fuentes-Bazan, S., Uotila P. y Borsch T. (2012b) A novel phylogeny-based generic classification for *Chenopodium* sensu lato, and a tribal rearrangement of *Chenopodioideae* (Chenopodiaceae). *Willdenowia* 42, 5-24.
- Gandarillas, H. (1979) Genética y origen. En: Tapia M.E. (ed) quinoa y Kaniwa. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Bogotá, pp 45-64.
- Gao, D., Schmidt T. y Jung C. (2000) Molecular characterization and chromosomal distribution of species-specific repetitive DNA sequences from *Beta corolliflora*, a wild relative of sugar beet. *Genome* 43, 1073-1080.
- Heiser, C.B. y Nelson C.D. (1974) On the origin of cultivated Chenopods (*Chenopodium*). *Genetics* 78, 503-505.
- Jacobsen, S.E. (2003). The worldwide potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Review International* 19, 167-177.
- Jarvis, D.E., Kopp O.R., Jellen E.N., Mallory M.A., Pattee J., Bonifacio A., Coleman C.E., Stevens M.R., Fairbanks D.J. y Maughan P.J. (2008) Simple sequence repeat marker development and genetic mapping in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Genetics* 87, 39-51.
- Jellen, E.N., Kolano, B.A., Sederberg, M.C., Bonifacio, A. y Maughan, P.J. (2011) *Chenopodium*. In *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources* (Ed. C. Kole), pp. 35-61. Berlín: Springer.
- Kistler, L., y Shapiro, B. (2011) Ancient DNA confirms a local origin of domesticated chenopod in eastern North America. *Journal of Archaeological Science* 38, 3549- 3554.
- Kolano, B, Pando L. G., y Maluszynska J. (2001). Molecular cytogenetic studies in *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus caudatus*. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 70, 85-90.
- Kolano, B.A. (2004) Genome analysis of a few *Chenopodium* species. Tesis de doctorado de la Universidad de Silesia, Katowice, Polonia.

- Kolano, B., Plucienniczak A., Kwasniewski M., y Maluszynska J. (2008a) Chromosomal localization of a novel repetitive sequence in the *Chenopodium quinoa* genome. *Journal of Applied Genetics* 49(4), 313-320.
- Kolano, B., Siwinska D. y Maluszynska J (2008b). Endopolyploidy patterns during development of *Chenopodium quinoa*. *Acta Biologica Cracoviensia Serie Botanica* 51: 85-92.
- Kolano, B., Siwinska D. y Maluszynska J. (2008c) Comparative cytogenetic analysis of diploid and hexaploid *Chenopodium album* Agg – *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 77: 293-298.
- Kolano, B., Gardunia B.W., Michalska M., Bonifacio A., Fairbanks D., Maughan P.J., Coleman C.E., Stevens M.R., Jellen E.N., y Maluszynska J. (2011) Chromosomal localization of two novel repetitive sequences isolated from the *Chenopodium quinoa* Willd. genome. *Genome* 54(9), 710-717.
- Kolano, B., Siwinska D., Gomez-Pando L., Szymanowska-Pulka J., y Maluszynska J. (2012a) Genome size variation in *Chenopodium quinoa* (Chenopodiaceae). *Plant Systematics and Evolution* 298, 251-255.
- Kolano, B., Tomczak H., Molewska R., Jellen E.N., y Maluszynska J. (2012b). Distribution of 5S and 35S rRNA gene sites in 34 *Chenopodium* species (Amaranthaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 170, 220-231.
- Mason, S.L., Stevens M.R., Jellen E.N., Bonifacio A., Fairbanks D.J., McCarty R.R., Rasmussen A.G. y Maughan P.J. (2005) Development and use of microsatellite markers for germplasm characterization in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Crop Science* 45, 1618-1630.
- Maughan, P.J., Bonifacio A., Jellen E.N., Stevens M.R., Coleman C.E., Ricks M., Mason S.L., Jarvis D.E., Gardunia B.W. y Fairbanks D.J. (2004) A genetic linkage map of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on AFLP, RAPD, and SSR markers. *Theoretical and Applied Genetics* 109, 1188-1195.
- Maughan, P.J., Kolano B.A., Maluszynska J., Coles N.D., Bonifacio A., Rojas J., Coleman C.E., Stevens M.R., Fairbanks D.J., Parkinson S.E., y Jellen E.N. (2006) Molecular and cytological characterization of ribosomal RNA genes in *Chenopodium quinoa* and *Chenopodium berlandieri*. *Genome* 49(7), 825-839.
- Maughan, P., Smith S., Rojas-Beltrán J., Elzinga D., Raney J., Jellen E., Bonifacio A., Udall J. y Fairbanks D. (2012) Single nucleotide polymorphisms identification, characterization and linkage mapping in *Chenopodium quinoa*. *The Plant Genome* 5(3), 114-125.
- Mosyakin, S.L. y Clemants, S.E. (1996) New infrageneric taxa and combinations in *Chenopodium* L. (Chenopodiaceae). *Novon* 6, 398-403.
- Mosyakin, S.L. and Clemants, S.E. (2002) New nomenclatural combinations in *Dysphania* R. Br. (Chenopodiaceae): taxa occurring in North America. *Ukrainian Botanical Zhurnal* 59, 380-385.
- Mosyakin, S.L. y Clemants, S.E. (2008) Further transfers of glandular-pubescent species from *Chenopodium* subg. *Ambrosia* to *Dysphania* (Chenopodiaceae). *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 2, 425-431.
- Palomino, G., Hernández L.T, y Torres E.D. (2008). Nuclear genome size and chromosome analysis in *Chenopodium quinoa* and *C. berlandieri* subsp. *nutalliae*. *Euphytica* 164, 221-230.
- Mujica, A. (2004). La quínoa Indígena, Características e historia. En: La Kinwa Mapuche, Recuperación de un Cultivo para la Alimentación (Eds J. Sepúlveda, M. Thomet I., P. Palazuelos F. & A. Mujica), pp. 22-42. Temuco, Chile: Fundación para la Innovación Agraria. Ministerio de Agricultura.
- Mujica, A. y Jacobsen S.E. (2000) Agrobiodiversidad de las aynokas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y la seguridad alimentaria. *Seminario Agrobiodiversidad en la Región Andina y Amazónica* 151-156.
- Risi, J.C. and Galwey, N.W. (1984) The *Chenopodium* grains of the Andes: Inca crops for modern



agriculture. *Advances in Applied Biology* 10, 145-216.

Ruas, P., Bonifacio A., Ruas C., Fairbanks D., y Andersen W. (1999) Genetic relationship among 19 accessions of six species *Chenopodium* L., by Random Amplified Polymorphic DNA fragments (RAPD). *Euphytica* 105, 25-32.

Smith, B.G. y Funk V.A. (1985). A newly described subfossil cultivar of *Chenopodium* (*Chenopodiaceae*). *Phytologia* 57, 445-448.

Smith, B.D. y Yarnell R.A. (2009) Initial formation of an indigenous crop complex in eastern North America at 3800 B.P. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (USA) 106, 6561-6566.

Stevens, M.R., Coleman C. E., Parkinson S. E., Maughan P. J., Zhang H.-B., Balzotti M. R., Kooyman D. L., Arumuganathan K., Bonifacio A., Fairbanks D. J., Jellen E. N. y Stevens J. J. (2006) Construction of a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) BAC library and its use in identifying genes encoding seed storage proteins. *Theor Appl Genet* 112, 1593-1600.

Walters, T.W. (1988) Relationship between isozymic and morphologic variations in the diploids *Chenopodium fremontii*, *C. neomexicanum*, *C. palmeri*, and *C. watsonii*. *American Journal of Botany* 75, 97-105.

Ward, S.M. (2000) Allotetraploid segregation for single-gene morphological characters in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Euphytica* 116, 11-16.

Wilson, H.D. (1980) Artificial hybridization among species of *Chenopodium* sect. *Chenopodium*. *Systematic Botany* 5, 253-263.

Wilson, H.D. (1988a) Quinoa biosystematics I: domesticated populations. *Econ Bot* 42:461-477.

Wilson, H.D. (1988b) Quinoa biosystematics II: free living populations. *Econ Bot* 42:47-494.

Wilson, H.D. (1988c) Allozyme variation and morphological relationships of *Chenopodium hircinum* (s.l.). *Systematic Botany* 13, 215-228.

Wilson, H.D. (1990). Quinoa and relatives (*Chenopodium* sect. *Chenopodium* subsect. *Cellulata*). *Economic Botany* 44, 92-110.

Wilson, H.D. y Heiser C.B. (1979) The origin and evolutionary relationships of 'Huauzontle' (*Chenopodium nuttalliae* Safford), domesticated chenopod of Mexico. *American Journal of Botany* 66, 198-206.

**CAPÍTULO: 1.2****TÍTULO: HERRAMIENTAS  
MOLECULARES Y  
GENÓMICAS PARA LA  
QUINUA**

*\*Autor para correspondencia:* PJ MAUGHAN <Jeff\_Maughan@byu.edu>

**Autores:**

PJ MAUGHAN<sup>a</sup>, EN JELLEN<sup>a</sup>, JA RANEY<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Brigham Young. Departamento de Ciencias Botánicas y de Vida Silvestre. Provo, Utah 84602

**Resumen**

Se ha desarrollado una sofisticada caja de herramientas de marcadores genéticos basados en ADN y recursos genómicos que son fácilmente accesibles a los investigadores de la quinua. Estas herramientas genómicas incluyen miles de marcadores de polimorfismos de nucleótido único y microsatélites caracterizados y mapeados, bibliotecas de etiquetas de secuencia expresada, bibliotecas de cromosomas artificiales bacterianos, y varias poblaciones de líneas endogámicas recombinantes inmortalizadas, así como mapas de ligamiento de recombinación de segunda generación. El uso apropiado de estos recursos debe permitir la identificación y clonación de genes de importancia agrícola. De hecho, las herramientas necesarias para identificar los loci de caracteres cuantitativos (QTL) a través del análisis de ligamiento genético ya existen. Una vez que hayan sido identificadas las asociaciones marcador-QTL, deberían acelerar en gran medida el proceso de producir cultivares de élite a través de la selección asistida por marcadores (MAS). Las mismas herramientas también deben facilitar la introgresión de alelos novedosos en la quinua a partir de parientes silvestres. Observamos que la

utilización de marcadores en el fitomejoramiento mejorará considerablemente las ganancias genéticas sin la incorporación de la tecnología transgénica, una consideración importante, ya que muchos países andinos tienen una opinión desfavorable sobre los cultivos transgénicos. Por último, estos recursos genómicos rápidamente expanden nuestra capacidad de comprender la diversidad y la historia evolutiva de la quinua (y taxones relacionados) y deben ser utilizados de inmediato por las instituciones nacionales y regionales y los programas de mejoramiento genético para caracterizar y mantener bancos de germoplasmas de la quinua - incluyendo el desarrollo de colecciones centrales para el fitomejoramiento.

**Fitomejoramiento en la era genómica**

La capacidad de producir un alto rendimiento de datos de secuencias de ADN a bajo costo, junto con los nuevos avances computacionales en bioinformática y análisis estadístico, está cambiando el ámbito del fitomejoramiento de manera dramática. El fitomejoramiento, una vez descrito como un “arte y una ciencia” está adoptando rápidamente herramientas moleculares que

aceleran y mejoran el proceso de fitomejoramiento. Los fitomejoradores de las principales especies agrícolas como maíz, soya, algodón, etc. ahora utilizan herramientas moleculares habitualmente para acelerar la selección y mejoramiento de caracteres complejos en programas de fitomejoramiento asistidos por marcadores (Eathington et al., 2007). Para este cambio fue fundamental la dramática disminución en el costo y el tiempo asociado con el desarrollo de los datos genotípicos necesarios para tomar decisiones de fitomejoramiento. Las tecnologías de genotipado de vanguardia producen fácilmente decenas de miles de puntos de datos genotípicos en menos de 24 horas (por ejemplo, Illumina GoldenGate™ y Fluidigm Dynamic Array IFC™). Esfuerzos en el genotipado de ADN que antes requerían años para llevarse a cabo ahora pueden ser fácilmente entregados al fitomejorador de una manera costo-efectivo dentro del plazo de una sola temporada de reproducción. Estos cambios dramáticos en el costo y la velocidad abren la oportunidad de aplicar estas tecnologías al fitomejoramiento de todas las especies de cultivos, incluso las que tienen un estado regional o son de menor importancia en el mercado mundial, incluida la quinua. La utilización de los métodos moleculares de fitomejoramiento no sólo permite a los fitomejoradores trabajar con caracteres de gran complejidad, sino que también serán esenciales para: i) la reducción del tiempo necesario para adaptar los cultivos para satisfacer las nuevas necesidades de los mismos, como calidad nutricional mejorada o cambios agrícolas exigidos por el cambio climático, ii) facilitar la introgresión de características valiosas de parientes silvestres a especies de cultivos establecidos y iii) la reducción del tiempo necesario para la domesticación de nuevos cultivos a partir de especies de plantas semi-silvestres.

### **Marcadores moleculares y mapas de ligamiento genético**

Los nuevos avances en el fitomejoramiento utilizan las herramientas de la genética molecular para acelerar la selección de nuevas variedades - aumentando la eficiencia de la selección mientras se reduce el tiempo de desarrollo de variedades. Estos métodos utilizan la selección de marcadores moleculares que se sabe están vinculados a los

caracteres cuantitativos y cualitativos de interés, para evitar los problemas asociados con el método tradicional de selección basado únicamente en fenotipos. El uso de marcadores moleculares para ayudar en la selección del carácter es conocido generalmente como la selección asistida por marcadores (MAS). A menudo, los métodos de selección asistida por marcadores, incluyendo metodologías específicas como el estudio de asociación de genoma completo (GWAS) aplicado directamente a las poblaciones reproductoras y la selección genómica, se utilizan regularmente para mejorar la eficiencia reproductiva en los programas de fitomejoramiento comerciales y públicos. El uso eficiente de estas metodologías se basa en el acceso a los numerosos marcadores moleculares de bajo costo, fiables y fácilmente analizados.

El primer paso hacia el desarrollo de marcadores moleculares para la quinua fue el desarrollo de un mapadeligamiento genético por Maughan et al.. Este mapa, que cubre un estimado de 60% del genoma, se basó principalmente en los polimorfismos de longitud de fragmentos amplificados (AFLP). Desafortunadamente, las dificultades asociadas con tecnologías de marcadores AFLP y la transferencia de esta tecnología a los laboratorios en el mundo en desarrollo donde se cultiva la quinua, limitan significativamente la explotación de estos marcadores. El siguiente paso en el desarrollo de marcadores de la quinua fue la caracterización de > 400 marcadores microsatélites (también llamados repeticiones de secuencias simples o marcadores SSR) reportado por Mason et al. y Jarvis et al.. Los microsatélites son motivos cortos repetitivos de nucleótidos, generalmente de dos a cuatro pares de bases de longitud, que están flanqueadas por secuencias conservadas y se producen de manera ubicua en todos los genomas eucariotas. Son ampliamente considerados como el sistema de marcador genético de elección para cuestiones taxonómicas, debido a sus características de ser altamente reproducibles, informativos, específicos a locus, multialélicos y codominantes. Debido a que son el tipo de secuencia de ADN más variable de los genomas eucariotas, los microsatélites han sido extremadamente útiles en la determinación de las relaciones taxonómicas entre individuos estrechamente relacionados y la evaluación de la diversidad dentro de una especie. Aunque el costo

inicial de desarrollar marcadores de microsatélites es alta, una vez desarrollados, estos marcadores basados en PCR son baratos de usar y requieren menos experiencia técnica en relación a otros tipos de marcadores moleculares (por ejemplo, marcadores AFLP). Ya se han utilizado estos marcadores de microsatélites en la quinua para evaluar la diversidad genética entre las accesiones de quinua dentro de la colección del USDA y en los esfuerzos para caracterizar genéticamente el germoplasma chileno y andino. De hecho, estos marcadores muestran claramente que las accesiones de quinua se pueden agrupar en dos grandes grupos: un grupo que incluye las accesiones de las tierras bajas de Chile (llamado ecotipo Costero) y un grupo de accesiones del altiplano andino (ecotipo Altiplano) con orígenes de Perú, Bolivia, Ecuador, Argentina y el extremo noreste de Chile. Fuentes et al. desarrollaron un conjunto fluorescente múltiple de microsatélites para estudiar los patrones de diversidad genética de las accesiones del norte y sur de Chile. Como era de esperar, las accesiones se agruparon en los dos grupos - ecotipos Costero y Altiplano. Curiosamente, las quinuas altiplánicas chilenas eran genéticamente menos diversas que las quinuas costeras chilenas, lo que sugiere una potencial pérdida de la diversidad genética en las zonas de cultivo comercial de Chile. Tártara et al. estudiaron la estructura genética de la quinua cultivada del noreste de Argentina utilizando 22 microsatélites. Además de estar subrepresentado, el noroeste de Argentina es también el extremo sur de la distribución de la quinua en los Andes Centrales. Las accesiones mostraron un alto nivel de diversidad genética que se podría agrupar en cuatro grupos eco-geográficos regionales, en consonancia con el origen geográfico de las accesiones. Específicamente, i) la región de transición caracterizada por elevadas altitudes, ii) la Puna, el altiplano, iii) los valles húmedos del este y iv) los valles secos.

Los polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) son el tipo más abundante de polimorfismo del ADN encontrado en los genomas eucariotas y son el marcador de elección en los programas de fitomejoramiento asistido por marcadores. Un SNP puede tener cuatro alelos, pero la mayoría muestra sólo dos alelos, y son considerados como bi-alelicos. La alta frecuencia de los SNP en los genomas de

plantas está bien documentada, con densidades reales de SNPs que varían dramáticamente dependiendo del tipo de especie (auto o alógama), el número y la diversidad genética de los cultivares que se está evaluando, y si se consideran las regiones codificantes o no codificantes. En la quinua, Cole et al. identificaron 38 cambios de una sola base y 13 inserciones-delecciones (indeles) en 20 secuencias EST analizadas en cinco accesiones de quinua, lo que sugiere un promedio de 1 SNP por cada 462 bases y 1 indel por cada 1.812 bases. Maughan et al. (2012) estudiaron frecuencias de SNPs entre pares de progenitores de cinco poblaciones de mapeo (Pop1, Pop39, Pop40, PopM3 y PopGO) e identificó, en promedio, 1 SNP por cada 2.214 pb. Observamos que las frecuencias de SNP son probablemente mucho más altas que esta estimación ya que los parámetros utilizados para identificar un cambio en la secuencia como un verdadero SNP eran muy conservadores (cobertura de lectura > 6X, frecuencia mínima de alelos > 20% y la conservación de identidad = 100%). El mayor número de SNPs se identificó en PopM3, que es un cruce entre un ecotipo chileno costero (NL6) y un ecotipo peruano de Valle (0654).

La alta frecuencia de SNPs ofrece la posibilidad de construir mapas genéticos extremadamente densos que son particularmente valiosos para los esfuerzos de clonación de genes basados en mapas, así como los estudios de asociación basados en haplotipos. Maughan et al. secuenciaron una biblioteca de reducción genómica de la quinua para identificar 14.178 SNPs putativos en cinco poblaciones bi-parentales de quinua. La reducción genómica, basada en la conservación de sitios de restricción (GR-RSC), permite la toma eficaz de muestras de fragmentos de ADN idénticos entre los individuos, sin información *a priori* de la secuencia del genoma. La incorporación de códigos de barras en fragmentos específicos de secuencias de ADN permite la asignación inequívoca de fragmentos a muestras específicas en el acervo de secuencias, permitiendo así la identificación de SNPs que se segregarán en poblaciones específicas. Cuando se liga con la secuenciación de segunda generación, la reducción genómica proporciona un medio eficaz en función de su costo para identificar, en masa, un gran número de SNPs de alta confianza con una amplia aplicación en diversos genomas. De los



SNPs identificados, las mutaciones de transición (A/G o C/T) fueron las más numerosas, superando en número a las transversiones (A/T, C/A, G/C, G/T) por un margen de 1.6 X, lo que está conforme con la observación de que los SNPs de transición son el tipo más frecuente de SNP registrado en los genomas tanto de plantas como de animales. De los 14.178 SNPs identificados, 511 fueron convertidos con éxito en ensayos de SNP funcionales utilizando la química competitiva de genotipado de PCR alelo específica de KBioscience (KASPar<sup>™</sup>). Un estudio de la diversidad de 113 accesiones de quinua utilizando estos 511 SNPs reveló claramente los dos principales subgrupos de la quinua. La frecuencia del alelo menor de los SNPs osciló desde 0,02 hasta 0,50, con un MAF promedio de 0,28. El mapeo de ligamiento de los SNPs en dos poblaciones de líneas endogámicas recombinantes (KU-2 X 0654 y NL-6 X 0654) generó un mapa de ligamiento integrado que consta de 29 grupos de ligamiento con 20 grandes grupos de ligamiento, que abarcan 1.404 cM con una densidad de marcadores de 3,1 cM por marcador de SNP.

#### **Etiquetas de Secuencias Expresadas y Marcadores de Polimorfismo de Nucleótido Único (SNP)**

Están empezando a surgir recursos genómicos adicionales para el mejoramiento de la quinua y se ha demostrado la utilidad de estos recursos para la clonación de genes de interés. Por ejemplo, conjuntos de datos de etiquetas de secuencia expresada (EST) están empezando a ser depositados en GenBank. Las secuencias EST son secuencias parciales de secuencias de ADNc transcritas que reflejan los genes que se expresan en un tipo de tejido dado, en un punto específico del desarrollo. Puestas a disposición del público, las secuencias EST facilitan enormemente los esfuerzos de descubrimiento de genes. Colecciones de estas secuencias también pueden proporcionar a los investigadores una herramienta rápida y económica para analizar los cambios de transcriptoma usando técnicas tales como micromatrices o análisis de secuenciación de ARN. Cole et al. describieron el primer conjunto de 424 ESTs a partir de tejidos de flores y semillas en desarrollo (GenBank dbEST ID #GI47561370 - GI47561793). De estas secuencias, 349 tenían una homología significativa con los genes que codifican proteínas en otras especies de

plantas. Funciones putativas relacionadas con el metabolismo, la síntesis de proteínas, el desarrollo y así sucesivamente, han sido asignadas a muchas de estas secuencias EST. Más recientemente, Raney et al. (2013) reportaron los resultados de un análisis de transcriptoma con secuenciación de ARN de dos accesiones de quinua utilizando cuatro tratamientos de agua (desde capacidad de campo a sequía). Bibliotecas de ADNc de muestras de tejido de raíz para cada combinación de tratamiento x variedad fueron secuenciadas utilizando la tecnología de Illumina Hi-Seq, generando un montaje *de novo* del transcriptoma de la raíz de la quinua que consiste en 20.337 transcripciones únicas (todas las transcripciones están disponibles públicamente en NCBI GenBank, SRA #SRR799899 y SRR799901). El análisis de la expresión de genes de los datos de secuenciación de ARN identificó 462 productos de genes putativos que mostraron expresión diferencial basada en el tratamiento y 27 productos de genes putativos expresados diferencialmente sobre la base de variedad x tratamiento, incluyendo diferencias significativas de expresión en el tejido de la raíz en respuesta a la creciente escasez de agua. Se identificaron genes expresados diferencialmente y se emplearon métodos bioinformáticos para implicar a las vías específicas asociadas putativamente con el estrés hídrico en la quinua.

Un excelente ejemplo de la utilidad de estas bibliotecas EST públicamente disponibles es el informe de la clonación y análisis de la proteína de almacenamiento de semilla globulina 11S y *genes altamente sensibles a la sal* (salt-overly-sensitive *sos1*; Maughan et al. 2009a) de la quinua. Balzotti clonó y describió los dos genes 11S que representan los dos subgenomas de quinua (un antiguo alotetraploide). La identificación y caracterización de estos genes proporcionan pistas importantes para entender el alto contenido de proteínas y excelente balance de aminoácidos en los granos de la quinua. Maughan et al. utilizaron secuencias de EST y la biblioteca BAC de quinua disponible para clonar y caracterizar dos loci *SOS1* homólogos (*cqSOS1A* y *cqSOS1B*) de la quinua, incluyendo secuencias de ADNc de longitud completa, secuencias genómicas, niveles relativos de expresión, el análisis de hibridación fluorescente in situ (FISH) y un análisis filogenético de los genes *SOS1* de 13 taxones de

plantas. El análisis de la secuencia genómica de dos clones BAC (98.357 pb y 132.770 pb) que contienen los genes SOS1 homólogos sugiere la posible conservación de sintenia a lo largo de los subgenomas de la quinua. La tolerancia a la sal es un carácter agronómicamente importante que afecta a las especies de plantas de todo el mundo, de hecho, casi una tercera parte de todas las tierras cultivables en todo el mundo se ven afectadas por la salinidad del suelo (Epstein y Bloom 2005). El gen Altamente Sensible a la Sal 1 (SOS1 por sus siglas en inglés) codifica un antiportador  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  de la membrana plasmática que juega un papel importante en la germinación y el crecimiento de las plantas en ambientes salinos. Observamos que Morales et al. también ha reportado el desarrollo de información cebador usada para la expresión en tiempo real de varios genes adicionales de tolerancia a la sal, incluyendo *NHX1*, *TIP2* y *BADH*.

#### **Biblioteca de Cromosomas Artificiales Bacterianos (BAC) de la Quinua**

Otra herramienta genómica importante que está disponible para la quinua es una biblioteca 9X de cromosomas artificiales bacterianos, que consiste en 74.880 clones. Esta biblioteca BAC del Instituto de Genómica de Arizona (AGI) de la Universidad de Arizona, Tucson, Arizona, EE.UU. está disponible para uso público. La biblioteca se construyó con dos endonucleasas de restricción, *Bam*HI (26.880 clones) y *Eco*RI (48.000 clones) con un tamaño promedio de insertos de 113 kb y 130 kb, respectivamente. Aproximadamente el 1% de los clones carecen de insertos. La cobertura estimada de la biblioteca se basa en un tamaño de genoma calculado en 967 Mbp. Se identificaron un promedio de 12,2 clones positivos por sonda utilizando 13 clones de una sola copia de ESTs de la quinua como sondas en los *calcos de arrays* de alta densidad. Sin lugar a dudas, la biblioteca BAC seguirá siendo un recurso importante para la identificación de genes específicos y la caracterización continuada del genoma de la quinua, específicamente para la construcción de un mapa físico de la quinua.

#### **Referencias**

Balzotti MRB, JN Thornton, PJ Maughan, DA McClellan, MR Stevens, EN Jellen, DJ Fairbanks, y

CE Coleman (2008). Expression and evolutionary relationships of the *Chenopodium quinoa* 11S seed storage protein gene. *Intern. J. Plant Sci.* 169:281-291.

Batley J, G Barker, H O'Sullivan, KJ Edwards, y D Edwards (2003). Mining for single nucleotide polymorphisms and insertions/deletions in maize expressed sequence tag data. *Plant Physiol.* 132:84-91.

Batley J, y D Edwards (2007). SNP applications in plants, en: N. C. Oraguzie, et al. (Eds.), Association mapping in plants, Springer, Nueva York. pp. 95-102.

Christensen SA, DB Pratt, C Pratt, PT Nelson, MR Stevens, EN Jellen, CE Coleman, DJ Fairbanks, A Bonifacio, y PJ Maughan (2007). Assessment of genetic diversity in the usda and cip-fao international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) using microsatellite markers. *Plant Genetic Resources* 5:82-95.

Coles ND, CE Coleman, SA Christensen, EN Jellen, MR Stevens, A Bonifacio, JA Rojas-Beltran, DJ Fairbanks, y PJ Maughan (2005). Development and use of an expressed sequenced tag library in quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) for the discovery of single nucleotide polymorphisms. *Plant Sci.* 168:439-447.

Crossa J, J Burgueno, S Dreisigacker, M Vargas, SA Herrera-Foessel, M Lillemo, RP Singh, R Trethowan, M Warburton, J Franco, et al. (2007). Association analysis of historical bread wheat germplasm using additive genetic covariance of relatives and population structure. *Genetics* 177:1889-913.

Eathington, SR, TM Crosbie, MD Edwards, R Reiter, & JK Bull (2007). Molecular markers in a commercial breeding program. *Crop Sci.* 47:S154-S163.

Fuentes FF, EA Martinez, PV Hinrichsen, EN Jellen, y PJ Maughan (2009). Assessment of genetic diversity patterns in chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Cons. Genet.* 10:369-377.

Garg K, P Green & DA Nickerson (1999). Identification of candidate coding region single nucleotide polymorphisms in 165 human genes using assembled expressed sequence tags. *Genome*

Res. 9:1087-1092.

Jannink JL, AJ Lorenz, y H Iwata (2010). Genomic selection in plant breeding: From theory to practice. *Brief Funct. Genomics* 9:166-77.

Jarvis DE, OR Kopp, EN Jellen, MA Mallory, J Pattee, A Bonifacio, CE Coleman, MR Stevens, DJ Fairbanks, y PJ Maughan (2008). Simple sequence repeat marker development and genetic mapping in quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). *J. Genet.* 87:39-51.

Kraakman AT, RE Niks, PM Van Den Berg, P Stam, y FA Van Eeuwijk (2004). Linkage disequilibrium mapping of yield and yield stability in modern spring barley cultivars. *Genetics* 168:435-46.

Mason SL, MR Stevens, EN Jellen, A Bonifacio, DJ Fairbanks, CE Coleman, RR McCarty, AG Rasmussen, y PJ Maughan (2005). Development and use of microsatellite markers for germplasm characterization in quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). *Crop Sci.* 45:1618-1630.

Maughan PJ, A Bonifacio, EN Jellen, MR Stevens, CE Coleman, M Ricks, SL Mason, DE Jarvis, BW Gardunia, y DJ Fairbanks (2004). A genetic linkage map of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on AFLP, RAPD, and SSR markers. *Theor. Appl. Genet.* 109:1188-1195.

Maughan PJ, TB Turner, CE Coleman, DB Elzinga, EN Jellen, JA Morales, JA Udall, DJ Fairbanks, y A Bonifacio (2009a). Characterization of *salt overly sensitive 1* (*SOS1*) gene homoeologs in quinoa (*Chenopodium quinoa* wilid.). *Genome* 52:647-657.

Maughan PJ, SM Yourstone, EN Jellen, & JA Udall (2009b). SNP discovery via genomic reduction, barcoding, and 454-pyrosequencing in amaranth. *Plant Genome* 2:260-270.

Maughan PJ, SM Smith, JA Rojas-Beltran, D Elzinga, JA Raney, EN Jellen, A Bonifacio, JA Udall, y DJ Fairbanks (2012). Single nucleotide polymorphism identification, characterization, and linkage mapping in quinoa. *Plant Genome* 5:114-125.

Moose SP, y RH Mumm (2008). Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. *Plant Physiol.* 147:969-77.

Morales AJ, P Bajgain, Z Garver, PJ Maughan, y JA Udall (2011). Evaluation of the physiological responses of *Chenopodium quinoa* to salt stress. *Int. J. Plant Physiol. Biochem.* 3:219-232.

Morgante, M, y AM Olivieri (1993). PCR-amplified microsatellites as markers in plant genetics. *Plant J.* 3:175-182.

Morton BR, IV Bi, MD McMullen y BS Gaut (2006). Variation in mutation dynamics across the maize genome as a function of regional and flanking base composition. *Genetics* 172:569-577.

Ossowski S, K Schneeberger, RM Clark, C Lanz, N Warthmann y D Weigel (2008). Sequencing of natural strains of arabidopsis thaliana with short reads. *Genome Res.* 18:2024-2033.

Raney JA (2012). Transcriptome analysis of drought induced stress in *Chenopodium quinoa*. Tesis de Magister. Universidad de Brigham Young University, Provo, Utah.

Russell J, A Booth, J Fuller, B Harrower, P Hedley, G Machray y W Powell (2004). A comparison of sequence-based polymorphism and haplotype content in transcribed and anonymous regions of the barley genome. *Genome* 47:389-98.

Stevens MR, CE Coleman, SE Parkinson, PJ Maughan, H-B Zhang, MR Balzotti, DL Kooyman, K Arumuganathan, A Bonifacio, DJ Fairbanks, *et al.* 2006. BAC library and its use in identifying genes encoding seed storage proteins. *Theor. Appl. Genet.* 112:1593-1600

Tartara SMC, MM Manifesto, SJ Bramardi, y HD Bertero (2012). Genetic structure in cultivated quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), a reflection of landscape structure in northwest argentina. *Cons. Genet.* 13:1027-1038.

Tautz D, & M Renz. (1984). Simple sequences are ubiquitous repetitive components of eukaryotic genomes. *Nucleic Acids Res.* 12:4127-4138.

Weber J, y PE May (1989). Abundant class of human DNA polymorphisms which can be typed using the polymerase chain reaction. *Am. J. Hum. Genet.* 44:388-396.

Windhausen VS, GN Atlin, JM Hickey, J Crossa, JL Jannink, ME Sorrells, B Raman, JE Cairns, A Tarekegne, K Semagn, *et al.* 2012. Effectiveness of genomic prediction of maize hybrid performance in different breeding populations and environments. *G3* 2:1427-36.

Zhang F, y Z Zhao. (2004). The influence of neighboring-nucleotide composition on single nucleotide polymorphisms (SNPs) in the mouse genome and its comparison with human snps. *Genomics* 84:785.

## CAPÍTULO: 1.3

## TÍTULO: LA DOMESTICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN PREHISTÓRICA

\*Autor para correspondencia: María Teresa PLANELLA <mtplanella@gmail.com>

**Autores:**

MARÍA TERESA PLANELLA <sup>a</sup>, MARÍA LAURA LÓPEZ <sup>b</sup>, MARÍA CHRISTINA BRUNO <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Sociedad Chilena de Arqueología. El Amancai 505 Las Condes, Santiago de Chile.

<sup>b</sup> Departamento Científico de Arqueología. Museo de Ciencias Naturales de La Plata. Paseo del Bosque s/nº, La Plata (1900), Argentina.

<sup>c</sup> Dickinson College en Carlisle, Pennsylvania EEUU, Carreras de Arqueología y Antropología. PO Box 1773 Carlisle, PA 17013.

**Resumen**

Este trabajo da cuenta del conocimiento actual sobre la historia de *Chenopodium quinoa* en cuatro países del área andina: Argentina, Bolivia, Chile y Perú (Figura 1). La reconstrucción de los contextos culturales donde la quinua fue domesticada, adoptada, intercambiada y/o cultivada desde tiempos remotos, ha sido posible gracias a la información que proveen las investigaciones arqueológicas, y particularmente arqueobotánicas, desarrolladas por numerosos especialistas en los países mencionados. Se suma a esto el aporte de la etnohistoria y la observación de las continuidades culturales que se aprecian en las comunidades actuales que aún producen de modo tradicional este grano.

En primer lugar, se expone la domesticación de *Chenopodium*. Los rasgos morfológicos que presentan las semillas arqueológicas han demostrado ser producto de la manipulación por parte del hombre desde al menos 3000 años. Asimismo, esta situación manifiesta el consumo de *Chenopodium* silvestre por grupos cazadores-recolectores del Arcaico (8000-3000 A.C.) en la región andina, quienes debieron aplicar procesos de selección, protección, cuidado y trasplante que condujeron a cambios en su estructura, obteniendo los rasgos característicos de la quinua domesticada.

Posteriormente, se da a conocer el registro arqueobotánico, desde el Arcaico hasta el período de dominación Inka. Se exponen las discusiones sobre los atributos morfológicos distintivos en cada región estudiada, las condiciones ecológicas en que se dio su cultivo, las zonas de proveniencia y rutas de acceso, los diversos contextos de uso, y las relaciones con los procesos socio-políticos acaecidos a lo largo del tiempo.

Finalmente se destaca el valor (o necesidad) de continuar las investigaciones regionales, la optimización de metodologías e intercambio de avances y resultados entre investigadores, para responder a numerosos problemas aún por resolver, entre ellos la presencia de semillas no identificadas específicamente por poseer rasgos que posiblemente se correspondan con las etapas incipientes en el proceso de domesticación.

**Introducción**

Desde hace unos ocho mil años el hombre comenzó a domesticar plantas y animales. La región andina es uno de los grandes centros de domesticación y la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es uno de los hallazgos trascendentales. Desde su domesticación ha jugado un papel central en la subsistencia y en los sistemas sociales y políticos de las sociedades andinas. Los arqueólogos están recuperando poco



a poco esta larga historia que incluye su uso como planta silvestre entre los cazadores y recolectores, los procesos de su domesticación, y su dispersión y diversificación a través de los Andes.

Si bien la genética molecular está contribuyendo al conocimiento sobre dónde fue domesticada la quinua, la arqueología provee información cronológica esencial sobre cuándo fue domesticada y/o introducida e incorporada a los sistemas agrícolas (Zeder et al. 2006). Asimismo, los contextos brindan el *por qué* la quinua fue adoptada y *qué* rol tomó en la vida de los pueblos originarios— desde la cocina cotidiana hasta fiestas y ceremonias comunales, de orden ritual y político.

Desde los años noventa, los arqueólogos han desarrollado métodos de trabajo de campo para recuperar semillas de quinua antiguas como la flotación y el *dry screening*, y de laboratorio para reconocer aquellas silvestres, domesticadas y sus diferentes variedades (López et al. *En prensa*). Debido a que la planta de quinua produce su fruto (aquenio) en gran cantidad y estos aquenios poseen una estructura resistente a procesos naturales (desección por el medioambiente de extrema aridez) y culturales (carbonización accidental o intencional), se recuperan semillas de quinua de diversos contextos en los Andes. La ubiquidad de quinua refleja su importancia en el pasado y en los últimos 15 años se han desarrollado proyectos en Argentina, Bolivia, Chile y Perú que se han enfocado en su domesticación y su consumo pretérito. Aquí sintetizamos los resultados publicados de estos proyectos aunque estamos conscientes de que falta mucho por investigar, especialmente en aquellos países donde el cultivo de quinua fue importante en el pasado como Ecuador y Colombia pero aún no hay estudios arqueobotánicos sobre el tema.

### **Domesticación de *Chenopodium quinoa***

Aún no se conoce con exactitud dónde y cuándo fue domesticada *C. quinoa*, pero sí se sabe que su domesticación en Sudamérica fue independiente a los *Chenopodium* de México (*Chenopodium berlandieri* spp. *nuttalliae*) y de Estados Unidos (*Chenopodium berlandieri* spp. *jonesianum*) (Kistler & Shapiro 2011; Wilson 1990). Sus posibles progenitores son *Chenopodium hircinum*, un tetraploide de tierras bajas u otro ancestro tetraploide extinguido de los Andes (Fuentes et al.

2009; Wilson 1990).

Durante el proceso de domesticación, un amplio rango de modificaciones morfológicas ocurrió tanto en la planta en general, como en los frutos. Los cambios de la planta incluyen: la Compactación de la Infrutescencia, la Pérdida del Mecanismo de Dehiscencia y la Uniformidad en la Maduración de los Frutos, cambios que facilitan su producción (Mujica et al. 2001), aunque algunas variedades no presentan esta última característica (Daniel Bertero comunicación personal). Sin embargo, la mayor evidencia arqueológica proviene de las semillas, siendo el aumento de su diámetro uno de los rasgos más característicos.

No obstante, otros rasgos micro-morfológicos son observados. Uno de ellos es la Reducción en el Grosor del Episperma o Testa que recubre al embrión y al perisperma en la semilla, y según Hugh Wilson (1981) evita la prematura germinación. En las poblaciones silvestres, esta cubierta seminal se caracteriza por ser gruesa, de cierta dureza y de color oscuro impidiendo la penetración de elementos externos que aceleren el desarrollo y crecimiento del embrión antes de la total madurez, como también protege a éste de la posible deshidratación y del ataque de insectos. Mediante el proceso selectivo de domesticación, el grosor del episperma fue disminuyendo, característica recesiva genéticamente que es mantenida solo a través de la selección del hombre. La reducción del episperma produjo la modificación morfológica de los márgenes de los frutos; mientras que las formas silvestres poseen márgenes redondeados a biconvexos, las domesticadas presentan Márgenes Truncados debido a la morfología más plana de sus caras adaxial y abaxial, al crecimiento de los cotiledones y a un incremento del volumen del perisperma. Al mismo tiempo, se produce una diferenciación en la textura presente en el episperma: las semillas domesticadas tiende a una Textura Lisa, es decir sin protuberancias, en oposición a la reticulada de las silvestres (Bruno 2006; Smith 1992). Finalmente, en las formas domesticadas se produce una Pigmentación hacia Colores Claros, debido a la disminución de la lignificación en la epidermis, contrario a la coloración oscura de los frutos de los tipos silvestres por epidermis lignificada y dura (Wilson 1981).

Actualmente se están realizando estudios moleculares en Argentina y Bolivia destinados al conocimiento sobre la domesticación, principalmente dónde sucedió y si se realizó más de una vez. Los primeros resultados permitieron identificar cuatro grupos genéticos: del Altiplano, Valles secos, Valles orientales húmedos y de Transición entre estos últimos (Curti et al 2012). Se utilizaron los mismos marcadores SSR (microsatélites) para caracterizar molecularmente poblaciones procedentes de distintos países sudamericanos andinos, con el objetivo de establecer las relaciones entre orígenes y la posterior difusión. Los resultados derivaron en agrupamientos de germoplasma que sugieren la existencia de corredores longitudinales en la dispersión de quinua a través de los Andes (Costa Tártara et al 2013).

Asimismo, estos estudios moleculares han comenzado a indagar en el Síndrome de Domesticación (cambios que diferencian una especie domesticada de su antepasado silvestre) de la quinua (Daniel Bertero comunicación personal). Uno de los temas tratados es la relación grosor de testa/pérdida de dormición, en la cual se demostró que en dos germoplasmas no existe tal relación (Ceccato 2011). No obstante ello, deben ampliarse las muestras de germoplasmas para afirmar o revocar esta característica en un grano domesticado, que está observado no solamente en las especies domesticadas en los Andes sino también en México y Norteamérica.

Como arqueólogas, proponemos en este capítulo la información correspondiente a cuándo surgen los primeros registros de quinua domesticada y cómo se genera la relación Hombre-*Chenopodium* en el pasado andino.

#### **Datos arqueológicos de la distribución prehispánica de *C. quinua***

Aquí presentamos un resumen de los trabajos publicados que contienen información sobre la presencia de quinua en sitios de Argentina, Bolivia, Chile y Perú. Enfocamos en los sitios donde las semillas aparecen, los contextos que reflejen su uso y los datos relacionados a su antigüedad. Es importante recalcar que el empleo de los fechados radiocarbónicos directos al material botánico es clave para determinar la antigüedad de la

quinua domesticada en las diferentes regiones. Como se explicitará a continuación, muchos sitios arqueológicos de Argentina, Bolivia, Chile y Perú, ofrecen dataciones contextuales que pueden ser problemáticas y erróneas para determinar cuándo se domesticó la quinua.

#### **Argentina**

Para ordenar mejor la información sobre los hallazgos de *C. quinua* en Argentina, se darán cuenta de los sitios arqueológicos por regiones. La primera de ella es el Noroeste Argentino (en adelante NOA), comprendiendo a los sitios ubicados en las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán y Catamarca (Figura 1 sector 1a) y la segunda región es Cuyo, la cual comprende a las provincias de Mendoza y San Juan (Figura 1 sector 1b).



**Figura 1:** Región Andina y los sectores geográficos con hallazgos de *C. quinua* arqueológicos. 1a NOA (Argentina); 1b Cuyo (Argentina); 2a Altiplano Norte (Bolivia); 2b Altiplano Central (Bolivia); 2c Altiplano Sur (Bolivia); 3a Norte (Chile); 3b Centro costero y cordillerano (Chile); 4 Perú.

## Noroeste Argentino

El primer registro dentro de Argentina de *C. quinoa* fue presentado por Hunziker (1943). El mismo proviene del sitio arqueológico Pampa Grande (Salta), que corresponde al pre-contacto (entre el 500 y el 700 D.C.). Consta de granos recuperados en un contexto funerario junto a otros restos botánicos. Si bien no se dan especificaciones taxonómicas sobre la variedad a la que pertenecen las *C. quinoa* recuperadas, el autor las considera como quinua al compararlas con los granos cultivados en la yunga boliviana. Hay ejemplares que fueron identificados solo como *Chenopodium* sp., a los que se menciona como ajara (posiblemente como referencia a un estado silvestre). Hunziker, en este mismo trabajo, hace mención a las semillas de quinua recuperadas en épocas anteriores por Ambrosetti en tumbas prehistóricas argentinas, pero no provee más datos al respecto.

En Salta, Muscio (2004) recuperó semillas carbonizadas de *Chenopodium* sp. afines morfológicamente a quinua en el sitio Matancillas 2 (San Antonio de Los Cobres) pertenecientes a los grupos tempranos agropastoriles. Por su parte, Lennstrom (1992) y D'Altroy et al. (2000) también presentan evidencias de *Chenopodium* sp. en los sitios Valdez (fechado entre 1047 y 1288 D.C.), Puerta de la Paya (1470-1536 D.C.) y Potrero de Payogasta (1279-1660 D.C.); si bien solo se especifica género, son interpretadas como semillas domesticadas por las características morfológicas. Por su alta ubicuidad, dan cuenta que dicha especie fue objeto de producción y consumo sin restricciones en su acceso tras la conquista Inka en la región. Finalmente, Amuedo (2010) registra quinua en los sitios La Paya, Kipón, Mariscal, Ruiz de los Llanos, Tero, ubicados cronológicamente en el período de Desarrollos Regionales (900-1450 D.C.).

Para Catamarca, en Antofagasta de la Sierra, Olivera (2006) recupera *Chenopodium* sp. en el sitio Cueva Cacao 1 (710±60 y 870±60 D.C.), y Rodríguez et al. (2006) presentan evidencias de *C. quinoa* en el sitio Punta de la Peña 4 (1190-1390 D.C.) tanto de semillas como ramificaciones de inflorescencias y tallo florífero, todo proveniente del contexto de fogón. Estos macrorrestos fueron recuperados junto a otras especies vegetales

domésticas y silvestres explicitando el consumo de múltiples recursos en la dieta y por primera vez, de la existencia de la asociación *C. quinoa/Deyeuxia eminens* (la primera comestible, la segunda como instrumento para ayudar al tostado de las semillas). Asimismo, en el sitio Peñas Chichas 1.3 Aguirre (2007) evidenció tallos de este pseudocereal con signos de siega, dando cuenta de su temprana cosecha en la región.

En su trabajo de tesis doctoral, Caló (2010) identifica semillas de *Chenopodium* sp. en el sitio Cardonal (Catamarca). Dadas las características morfológicas de un grupo de semillas, considera la confrontación con *C. quinoa*. Sin embargo, es importante aclarar que ante la inseguridad por los rasgos morfo-métricos de los granos, mantiene solo la identificación a nivel de género y asegura su manipulación como género comestible entre los habitantes del sector sur del Valle Calchaquí. Por último, trabajos arqueológicos de rescate realizados en el sitio Las Champas (Tinogasta) (1275 y 1435 D.C.) (comunicación personal Norma Ratto), se recuperaron semillas de un contexto funerario, entre las que se identificaron *C. quinoa* var. *melanospermum*. Esta ajara se presenta con indicios de hervor o de remojado en agua. Hasta el momento se plantea la posibilidad de la existencia de un consumo ritual de la ajara por parte de la sociedad que realizó este entierro e indirectamente se plantea el cultivo de quinua en la región.

En Jujuy, del sitio Finispatriae (Río Grande de San Juan) (800 y 1300 D.C.), límite entre Argentina y Bolivia, se han recuperado granos de *C. quinoa* carbonizados. El contexto de recuperación del material arqueobotánico corresponde a un área de desechos (basural), por lo cual, hasta el momento, sólo puede interpretarse el consumo de quinua por quienes habitaron este sitio (Nielsen et al. 2013).

Los hallazgos más antiguos de este pseudocereal en el NOA se corresponden con granos de almidón. Babot (2004) recuperó estos microrrestos en instrumentos de molienda del sitio los Viscos (Catamarca) (320±230 A.C. a 1130±50 D.C. -Korstanje 2005), y del sitio Cueva de los Corrales 1 (Tucumán) (que solo posee una cronología estimativa posterior al 50 A.C.). Si bien solo se logró identificar a nivel de género y con ambivalencia

entre *Chenopodium* y *Amaranthus*, se remarca la importancia del consumo de pseudocereales entre grupos cazadores-recolectores. Asimismo, en Antofagasta de la Sierra, Babot (2004) ha presentado evidencias de granos de almidón de *Chenopodium* sp. cf. *C. quinoa* en instrumentos de molienda de los sitios Punta de la Peña 9.1 (520±60 D.C.), Quebrada Seca 3 (niveles 2b(2) datado en 2550 A.C., y 2b(3) fechado en 2750 A.C.). En el sitio Morro Relincho (rasgos Formativos), Korstanje (2005) encuentra en sedimento pequeños granos de almidón tipo quinua, infiriendo su posible producción.

#### Cuyo.

En San Juan y bajo la denominación de Cultura de Ansilta (ca. 500 A.C.), Lagiglia (2001) expone una lista de sitios donde se encontró quinua; entre ellos Gruta de los Morrillos de Ansilta, Gruta Granero, Punta del Agua de los Morrillos, La Pintada, Gruta de Chacaycito. No obstante ello, estas semillas son solo nombradas “quinua”, sin especificación de género ni de especie. Por su parte, Gambier (2002), analizando los sitios pertenecientes a la cultura Aguada (500-900 D.C.), menciona la presencia de *C. quinoa* como una de las especies cultivadas, sin especificar en qué sitios esta evidencia está presente. Posteriormente, Lagiglia (2005) describió contextos, como el caso de Gruta Los Morrillos, donde en la gruta 1, la quinua fue recuperada de un basurero, mientras que en la gruta 2 se recuperó “un pan de *C. quinoa*” (op cit:7), y, en un nivel inferior, coprolitos humanos con evidencias de dicho pseudocereal. En el sitio Gruta Río Fierro, 25 gramos de *C. quinoa* fueron hallados como parte de un entierro, mientras que en Gruta Río Salado, se menciona la recuperación de *C. quinoa* var. *quinoa* y *C. quinoa* var. *melanospermum*.

Con respecto a Mendoza, los sitios pertenecientes a la Cultura del Atuel II (ca. 300 A.C. hasta la incursión hispana) contienen una buena representación de pseudocereales andinos. Hernández et al. (1999-2000) presentan el registro arqueobotánico del sitio Agua de los Caballos 1 (San Rafael), dando cuenta de semillas de *Chenopodium* sp. Lagiglia (2001) presenta la evidencia de diversos sitios cronológicamente tempranos, entre ellos Gruta del Indio del Rincón del Atuel (250±70 A.C.), Cueva Pájaro Bobo de Ponontrehue (60±70 A.C.) y Reparo

de las Pinturas Rojas (390±110 D.C.), donde se evidencia *C. quinoa* var. *quinoa* y *C. quinoa* var. *melanospermum*. No se dan especificaciones mayores acerca de cada sitio y su contexto, excepto para el sitio Gruta del Indio, donde años posteriores Lagiglia (2005) explicita el hallazgo de *C. quinoa* contenidos en un cesto de cortadera y juncos, dando cuenta de su manipulación en Cuyo desde hace más de 2200 años. Este sitio se vincula principalmente con funciones de funebria (Gil y Neme 2010).

Castro y Tarragó (1992), tomando de base la presencia de *C. quinoa* junto a otros restos arqueobotánicos en sitios de San Juan y Mendoza, proponen la existencia de un proceso socio-económico de agriculturización similares a los de Chile y el NOA acontecidos durante el Arcaico tardío.

#### Bolivia

Podemos centrar los grandes hallazgos de *C. quinoa* en tres regiones del Altiplano boliviano: Norte, centrado en la región del Lago Titicaca (Figura 1 sector 2a) Centro, en la región del Lago Popó y Oruro (Figura 1 sector 2b) y Sur, alrededor del Salar de Uyuni (Figura 1 sector 2c).

##### Altiplano Norte boliviano – Región del Lago Titicaca.

El registro de esta región, principalmente en la península de Taraco y el valle de Tiwanaku, se corresponde solo con macrorrestos botánicos carbonizados. Hasta el momento, provienen de varios contextos desde el periodo Formativo (1500 A.C.-300 D.C.) hasta el periodo Tiwanaku (300-1100 D.C.).

Kidder (1956) encontró restos de plantas carbonizadas en los nichos de las “casas” encima del Montículo de Chiripa, el sitio Formativo más reconocido, que luego Towle (1961) identificó como semillas de quinua. En la década de 1970, Erickson (1976) analizó los restos de Chiripa para su tesis de grado, identificando muchas semillas del género *Chenopodium*, entre ellas la especie *C. quinoa*. Posteriormente, Browman (1989) examinó más muestras y dada las diferencias de tamaño de las semillas de *Chenopodium*, propuso que las grandes eran quinua (1-2mm).

Los estudios arqueobotánicos desde 1992,



por Hastorf y sus estudiantes con el Proyecto Arqueológico de Taraco (PAT), revelaron altas densidades de varias especies de *Chenopodium* (Bruno 2008; Langlie 2008; Whitehead 2007). A través del análisis detallado de las características morfológicas de las semillas de *Chenopodium* – especialmente las de la cubierta seminal-, Bruno (2006) pudo identificar la especie domesticada quinua y su contraparte silvestre *C. quinoa* var. *melanospermum* (Bruno and Whitehead 2003).

El PAT ha obtenido varios fechados radiocarbónicos directamente de las semillas de quinua de los sitios Chiripa, Kala Uyuni, Sonaji, y Kumi Kipa. Los fechados más tempranos provienen de Chiripa y Kala Uyuni y datan alrededor del 1500 A.C. y se extiende hasta el 400 D.C. en Kala Uyuni. En todos los estudios se encuentran las semillas de *Chenopodium* con restos de varias otras especies silvestres como gramíneas, legumbres, y malváceas.

Las investigaciones de Bruno y Whitehead (2003) determinaron que durante el periodo Formativo Temprano o Fase Chiripa Temprano y Medio (1500-800 A.C.) se desarrolló una agricultura a pequeña escala donde se cultivaba y cosechaba tanto la quinua como la ajara o quinua negra. A partir del Formativo Medio (Chiripa Tardío, 800-200 A.C.), se presenta un decrecimiento drástico de la presencia arqueológica de ajara señalando cambios en el manejo (control de malezas, procesamiento) y uso de cultivos, a la vez que se incrementan los rituales donde se sugiere que la quinua, como alimento, jugó un papel importante. A través de los estudios de varios contextos de los sitios de Taraco, que incluyen desde pisos y nichos de estructuras públicas y ceremoniales hasta basurales domésticos, los investigadores han determinado que la quinua figuraba en la alimentación doméstica y ritual y en eventos en la vida social y política del periodo Formativo.

Los estudios realizados en los sitios asociados con el primer estado de la región – Tiwanaku – demuestran que la importancia de quinua en las chacras y comidas de la gente altiplánica continuó en esta época. Como parte del Proyecto Wila Jawira dirigido por Kolata, los primeros estudios arqueobotánicos en el sitio urbano Tiwanaku

y otros sitios rurales en el valle de Tiwanaku y Lukurmata, se encontraron semillas que identificaron como *Chenopodium* en 93% de las muestras analizadas (Wright et al. 2003).

A estos datos se adicionan los aportes de Schultz (2010) con el sitio Pirque Alto (Cochabamba), a lo largo de los periodos Formativo (1800 A.C.-300 D.C.) y Horizonte Medio (600-1000 D.C.). En ellos, la presencia de *C. quinoa* da cuenta de la importancia del cultígeno a nivel social e ideológico.

#### *Altiplano Centro boliviano*

Langlie hizo un estudio morfológico de semillas de *Chenopodium* recuperadas de un fogón en el sitio La Barca (Langlie 2008; Langlie et al. 2011). La Barca es un sitio Wankarani, la cultura asociada con el periodo Formativo (1800 A.C. – 400 D.C.) en el departamento de Oruro. Las semillas que examinó Langlie eran distintas que la quinua domesticada y silvestre, moderna y arqueológica, de la región del lago Titicaca. Aunque el grosor de su cubierta seminal es relativamente delgado, su textura reticulada y márgenes biconvexos son como la quinua negra silvestre. Además tiene un “beak” muy prominente lo cual es muy distinto que las quinuas de Titicaca. Ella sugiere que estas semillas pueden ser de una variedad temprana y distinta de quinua domesticada que se desarrolló en la región de Oruro. Hasta ahora no tenemos muestras comparativas similares entonces su identificación definitiva es difícil. Sin embargo, su presencia señala la diversidad en las primeras etapas del proceso de la domesticación de la quinua.

#### *Altiplano Sur boliviano*

Las investigaciones llevadas a cabo por Nielsen y colaboradores, con el Proyecto Arqueológico Altiplano Sur (PAAS), han recuperado quinua en diferentes contextos de numerosos sitios arqueológicos ubicados cronológicamente entre el 900 y 1550 D.C.

Las áreas habitacionales de los sitios defensivos de altura (pukaras) Churupata (1285-1380 D.C.), Mallku pukara (1310-1630 D.C.) y Pukara de Sedilla proporcionaron semillas carbonizadas de *C. quinoa*. Éstas provienen de fogones de cocción de alimentos y, por las características diagnósticas de procesamiento pre-consumo (López et al.



2012), se infiere que se corresponde con granos desaponificados, cuya finalidad de consumo fue a modo de graneado (hervido) y/o en sopa.

El segundo contexto de recuperación arqueobotánica se corresponde con áreas de almacenamientos. Estas se ubican en los sitios defensivos Laqaya (1236-1479 D.C.), Mallku pukara (1310-1630 D.C.) y Jirira Vinto (1300-1400 D.C.) y en los sitios aislados asociadas a campos agrícolas Chinuil Vinto, Cueva del Diablo (1310-1460 D.C.), Lojo, Qhatinsho 1 (720-1630 D.C.), Oqhañitaiwaj y Paco Cueva. La especie identificada es *C. quinoa*, tanto granos como hojas, tallos y raquis de infructescencia. A excepción del sitio Laqaya, el material botánico arqueológico se conservó desecado, lo que permitió obtener las variedades taxonómicas y los distintos tipos dentro de quinua. En el sitio Laqaya, los granos se encontraban carbonizados dentro de una torre-chullpa de piedra ubicada en la plaza central del sitio. Además de los granos individualizados que pudieron analizarse, se recuperó una masa de perisperma con granos y restos de granos de quinua adheridos; ésta se presenta con la morfología de un cuenco, posiblemente con el cual se extraían las semillas del silo y su molde negativo quedó al incendiarse este sector del sitio. El contexto arqueológico plantea dos posibilidades por la cual la quinua se almacena en esta torre de la plaza: como parte del consumo comunitario dentro del sistema de comensalismo político, o como semilla resguardada por la corporización del ancestro del ayllu (representada por la torre-chullpa), el cual formaba parte de las celebraciones comunitarias del ciclo agrícola (López y Nielsen 2012).

La presencia de *C. quinoa* var. *quinoa* es registrada en todos los sitios emplazados cerca del Salar de Uyuni, adicionándose la var. *melanospermum* solo en el sitio Jirira Vinto, emplazado al pie de la Cordillera Intersalar (al norte del Salar de Uyuni). Dadas las características del sistema agrícola de ambas zonas, consideramos que la presencia de ajara puede deberse al sistema de producción diferencial, donde ésta no habría constituido competencia a la quinua en su crecimiento en Jirira Vinto y por ende, fueron toleradas, posiblemente cuidadas, y cosechadas para su consumo alimenticio en épocas de escases (López 2012).

De *C. quinoa* var. *quinoa*, pudo establecerse que fueron almacenadas en dos etapas diferentes del procesamiento post-cosecha. La primera etapa se corresponde con el almacenamiento a granel pre-desaponificado, posiblemente con la intención de su siembra en la época agrícola siguiente. Los tipos registrados, según color del fruto y medidas diametrales, se asemejan con las quinuas actuales denominadas Blanca o Yuraj Real, Cashlala, Pasankalla, Rosada o Puca, Anaranjada y Negra según la clave elaborada para tal fin (López 2012). Asimismo, pueden estar presentes los tipos Morado y Toledo, pero no se han podido identificar con exactitud dada la superposición de características de las otros tipos (López et al. 2012). La segunda etapa se corresponde con los granos post-desaponificados, almacenados listo para su consumo. De estos últimos granos, la evidencia de tostado da cuenta de las prácticas con el fin de consumo a modo de graneado (hervido) y/o sopa, y como pitu o harina de granos tostado (López 2012). Estas evidencias reflejan modos de consumo que se asimilan a las prácticas actuales. El pitu o pito es actualmente consumido durante las etapas de producción agrícola (siembra y cosecha), como así también en las caravanas de traslado de productos para venta; asimismo, cabe la posibilidad del consumo de quinua tostada en los campos agrícolas, luego de finalizada la jornada de trabajo.

## Chile

Las áreas en que se ha dividido Chile para dar cuenta de los hallazgos arqueobotánicos de quinua, se corresponden con el Norte chileno (Figura 1 sector 3a) y Chile Central (Figura 1 sector 3b); éste último a su vez es subdividido en la región cordillerana y la de valles y costa.

### Norte de Chile

Los primeros hallazgos de *C. quinoa* en Chile fueron dados a conocer por Safford (1917, en Hunziker 1943) quien extrajo en Arica plantas completas de dicha especie. Por su parte, Uhle (1919) recupera quinua de contextos funerarios con individuos momificados de la cultura Chinchorro. Eran grupos de pescadores, cazadores y recolectores pre-agrícolas que habitaron sitios del litoral árido antes del 3000 A.C. (Arriaza y Standen 2002). Esta antigua evidencia adolece de descripciones

morfológicas que corroboren si se trataba de alguna especie domesticada, aunque Uhle propuso que esta quinua provenía de contactos con el altiplano. Estudios arqueobotánicos recientes en quebradas costeras evidencian la presencia de *C. quinoa* en el sitio Chomache 1 con fechas entre 1600 y 600 A.C. (Núñez 1986). Su representatividad es mínima pero indicaría su proveniencia desde los valles bajos del interior y tierras altas, donde era más factible la producción. Estas evidencias tempranas de quinua sugieren que habría arribado inicialmente a la costa desde otras áreas, incluyendo la costa del sur del actual Perú, al no existir datos suficientes que sustenten domesticación local, o una horticultura asociada a tempranos desarrollos litorales (Vidal 2007).

Durante el período Formativo (1000 A.C. a 500 D.C.), en los valles interiores de Tarapacá y en los oasis, se indica la presencia de cultivos de altura en sitios de pampa, entre ellos semillas carbonizadas de quinua en las aldeas Ramaditas y Guatacondo, con atributos morfológicos adscribibles a *C. quinoa* (comunicación personal Magdalena García; Rivera et al. 1995). En la fase temprana de Gatchi (1200-350 A.C.) fueron recuperadas semillas afines al género *Chenopodium*, pero su estado carbonizado impidió asignarles una categoría taxonómica más precisa (Vidal 2007). Se ha sugerido que es un momento de mayor dinamismo en el contacto con zonas trasandinas, como el NOA y el altiplano meridional (Núñez et al. 2002-2005).

Al sur del salar de Atacama, región de Antofagasta, Holden (1991) menciona la presencia de *Chenopodium* en coprolitos, de una posible variedad doméstica, en los sitios Tulan 54 y 58, con fechas entre 1400 y 470 A.C.. Su baja proporción indica que no habría sido significativa en la dieta de sus ocupantes. Los análisis de McRostie (2007) muestran una mayor cautela, refiriéndose a los especímenes carbonizados de Tulan 54 como cf. *C. quinoa*. Estos presentan rasgos morfo-métricos de quinua pero el daño de la testa dificultó acceder a una clara determinación. Entre los microrrestos analizados, menciona a “agregados de almidón” similares al patrón de la familia Amarantaceae, junto a otras especies que corroboran la existencia de vinculaciones con áreas trasandinas y altiplano así como la

probable participación de grupos foráneos en este sitio con elementos de ritualidad.

En el altiplano de Tarapacá, ocupaciones humanas en recintos habitacionales de los sitios de Huasco Sur, todos del Período Formativo (900 A.C.-900 D.C.), han dejado evidencias de variedades silvestres de Amarantaceae y en solo uno de ellos, semillas carbonizadas de *C. quinoa* como única especie cultivada del registro (comunicación personal Magdalena García y Alejandra Vidal). Dada la alta heterogeneidad de los modos de vida constatadas en este Período en la región de Tarapacá, la ausencia de maíz y otros elementos, motiva a estas autoras a proponer que este sector del Salar, como lugar transitorio entre el oasis de Pica y la zona norte de Lípez, no tendría nexos bien definidos con los valles tarapaqueños y otros sitios del Formativo, y que la quinua, al no existir las condiciones ambientales para su cultivo, pudo provenir de Bolivia y luego de las quebradas precordilleranas durante el Intermedio Tardío. Por su parte, el sitio Camiña 1 (1250-1450 D.C.), asentamiento extenso con estructuras aglutinadas en la región de Tarapacá, presenta evidencia de quinua que provendría también del altiplano, ya en un nuevo contexto socio económico con producción en los andenes adyacentes al sitio (García y Vidal 2006).

A la luz de estos antecedentes, se puede apreciar que no hay datos suficientes para establecer domesticación de la quinua en estos territorios, más bien, entre los investigadores hay consenso sobre movilidad transversal y longitudinal e intercambio de productos y bienes entre las tierras altas, valles bajos del interior, quebradas y litoral desde el período Arcaico. Éstos se habrían incrementado durante el Formativo, incluyendo productos con fines rituales, desembocando en una clara actividad productiva en el Intermedio Tardío y Tardío. Los contactos trasandinos y con el altiplano habrían sido gravitantes en el proceso de adopción de cultígenos.

La quinua tuvo un rol importante en los rituales de los Inkas como *chisiya mama* (grano madre), y que no faltaba en las celebraciones y ofrendas con motivo de la siembra y cosecha de este valioso alimento. La incursión Inka en territorio de Chile (1440 D.C.) introdujo estas actividades ceremoniales en las poblaciones conquistadas,

fomentando además el mejoramiento de las infraestructuras para el cultivo, regadío y almacenaje.

#### *Chile Central cordillerano*

En Chile Central, la presencia prehispánica de *Chenopodium* ha sido corroborada en sitios arqueológicos de la cordillera y precordillera andina, del valle central y de la costa, entre las cuencas de los ríos Choapa y Maule. Más al sur, los hallazgos son en las regiones de Biobío, La Araucanía, Los Lagos, e islas de Chiloé, Mocha y Santa María. En esta última, fechados AMS en semillas carbonizadas de quinua permiten estimar su utilización entre 1030 y 1460 años D.C. (Massone et al. 2012).

*Chenopodium* es el primer recurso vegetal con rasgos de intervención humana encontrado en la zona central de Chile. Data del período Arcaico (3000 a 300 A.C.) entre grupos cazadores recolectores cordilleranos, antecediendo a la adquisición del maíz por las sociedades hortícolas del período Temprano (300 A.C. a 1000-1200 D.C.) Esto también ha sido demostrado por análisis de isótopos estables (Falabella et al. 2008). En el sector altoandino, frente a la ciudad de Santiago y a 2070 y 2500 msnm, son dos los sitios que reflejan el consumo de *Chenopodium*. Ambos son sitios de cazadores recolectores sin alfarería, de fines del período Arcaico IV (Cornejo et al 1998) y fueron ocupados temporalmente en las estaciones de deshielo y ausencia de nieves, entre los meses de agosto/septiembre hasta marzo/abril. El sitio El Plomo (1460-1340 A.C.) evidencia *Chenopodium* sp. cf. *C. quinoa*, con cantidades similares entre ejemplares carbonizados y otros en condición desecada. Estos últimos no presentan radícula, no alcanzan tamaños mayores a 0,8 a 1 mm de diámetro y conservan una coloración natural blanco-marfil del perisperma, margen truncado/redondeado, ausencia de testa, y prominencia del embrión (beak) (Planella et al. 2011). Por su parte, en el alero Las Morrenas 1 (1250-980 A.C. fechado AMS directo en semillas) se recuperó *Chenopodium* cf. *C. quinoa*. Todos los ejemplares están carbonizados, lo que impide su adscripción taxonómica a nivel de variedad o de especie. Con diámetros de hasta 1,4 mm, la mayoría presenta la radícula desprendida del resto de la semilla o el extremo de la misma está hinchado o levantado

supuestamente por la carbonización (Planella et al. 2005, 2011).

Un proceso de domesticación de cultígenos en esta área cordillerana es bastante improbable por las condiciones climáticas adversas, que limitan la posibilidad de prácticas de cultivo y por los lapsos de estadía de los grupos humanos. Más bien se ha sugerido que la cercanía a pasos cordilleranos hacia la vertiente oriental de los Andes impulsó los contactos e intercambio de bienes, saberes e innovaciones que incluyeron cultígenos iniciales o variedades tempranas de quinua (Planella et al. 2011). Pese a ello, las fechas señaladas para los sitios mencionados continúan siendo anteriores por ejemplo a las obtenidas en Mendoza, Argentina, y a su vez son notoriamente más tempranas que aquellas que se han reportado en la costa y valle central.

#### *Chile central: área de valle y costa*

En los valles de la precordillera costera de las regiones Libertador Bernardo O'Higgins y Maule, y en sectores dispersos hasta la isla de Chiloé, se cultiva hasta el día de hoy la llamada *quinwa* o *dahue* (etnónimo mapuche). En la primera de estas regiones, las evidencias prehispánicas de *Chenopodium* en sitios arqueológicos del período Alfarero Temprano datan del 400 al 1000 D.C. (Planella y Tagle 1998; Tagle y Planella 2002). El estado de carbonización de estos macrorrestos, con diámetros entre 1,3 a 1,8 mm no ha permitido visualizar atributos diagnósticos de su perisperma, que en el ecotipo de Nivel de mar (Bertero 2007) siempre es traslúcido o cristalino, una característica poco común e incluso rara en las variedades andinas con excepciones, como sucede en los valles húmedos del NOA, así como tampoco se ha podido determinar el diámetro original de sus frutos. La quinua actual de la región costera de Chile central presenta características o atributos asociados a rasgos arcaicos que se relacionan a variedades silvestres (ver Wilson 1988). Por ellos se sostiene que es un cultivo que ha permanecido en un área relictual de posible domesticación (Bertero 2007). Este mismo autor y colaboradores, con nuevos aportes en su línea de investigación interdisciplinaria sobre quinua, refuerzan la hipótesis de que el área centro-sur de Chile fue uno de los centros independientes de domesticación, además de los Andes centrales

(Bertero et al 2013) y apoyan la propuesta de Planella y Tagle (2004) sobre una manipulación antrópica local de la quinua en Chile central.

Las evidencias más tempranas de *Chenopodium* sp. en el valle se corresponde con almidones recuperados de un instrumento de molienda en el sitio Lenka Franulic, de grupos alfareros iniciales (200 A.C.-200 D.C.) (Tykot et al. 2009). Otros sitios tempranos con *Chenopodium* son El Mercurio (120 a 150 D.C., correspondiente a la fase I) en el valle (Planella et al. 2010), y Las Brisas 3 (38 A.C.-224 D.C.) en la costa (Rivas y González 2008).

Los problemas en el análisis morfológico de *Chenopodium* también ocurren con los ejemplares arqueológicos de los sitios del valle central y de la costa. Durante el período Alfarero Temprano, presentan diámetros entre 0,8 y 1,8 mm (Planella y Tagle 1998; Tagle y Planella 2002; Quiroz y Belmar 2004). No es hasta el período Intermedio Tardío (1040 a 1450 D.C.), con la cultura Aconcagua, que se observan tamaños mayores, entre 1,5 y 2 mm de diámetro (Planella 2005); una situación destacada en relación al cambio de tamaño de las semillas se aprecia también en los hallazgos de *Chenopodium* sp. asimilable a quinua por su rasgo de banda ecuatorial, desde los niveles más antiguos en el sitio Alfarero Temprano Lonquén (100 A.C.- 900 D.C.) al compararlos con otros del sitio El Cebollar, del Intermedio Tardío (815 D.C.-1075 D.C.) (Quiroz y Belmar 2004). Estos datos avalarían un proceso de intensificación en la relación hombre-planta que conllevó posiblemente a ensayos y procedimientos de domesticación de *Chenopodium*. Belmar y Quiroz (2004) también constataron modificaciones en el promedio de los tamaños en sitios de la cultura Diaguita en el norte semiárido, valles de Chalinga e Illapel, con dataciones entre 1210 y 1520 D.C., diferenciando las evidencias de menor diámetro pre-inkaicas de aquellas diaguita-inkaicas. En el período Tardío y con la ocupación Inka en el territorio central (Garceau et al 2010; Rossen et al. 2010; Martínez 2012) se observan, en los macrorrestos carbonizados, diámetros cercanos a 2 mm con mayor representatividad y ubicuidad.

Rossen et al. (2010) analizaron las implicancias de la presencia de quinua, junto a otros cultivos locales en el sitio fortificado Cerro Grande de la Compañía, con ocupación pre-inka e inka (1310-

1480 D.C.). *C. quinoa* está presente en diversos contextos, dando cuenta así de su almacenamiento selectivo (al encontrarse separado del maíz) como de su consumo en áreas habitacionales. El registro arqueológico de quinua en sitios regionales pre-inkaicos, como también el del maíz, se incrementa luego de la introducción de nuevos mecanismos de intensificación de su cultivo, y ampliación de consumo, no solo alimenticio sino también político-ceremonial.

A diferencia de la zona cordillerana de Chile central donde solo se ha comprobado la presencia esporádica de quinua en los residuos de las ocupaciones humanas, en los valles de la precordillera costera y sector del secano costero el cultivo de esta variedad de nivel de mar se ha mantenido como una actividad tradicional a través del tiempo, a partir de la profundidad cronológica señalada o aún antes formando parte, la quinua, de un conjunto de cultígenos asociados con maíz, calabaza, zapallo y porotos (Planella y Tagle 1998, 2004).

#### Perú (Figura 1 sector 4)

En 1880, Wittmack y Rochebrune informan por primera vez el hallazgo de quinua en niveles arqueológicos, al encontrar frutos, hojas y hasta harina de *C. quinoa* en contextos funerarios de Ancón (Hunziker 1943). Hay estudios tempranos de Uhle (1919) y MacNeish (1969, en Lumbreras 2003) en Ayacucho con registro de semillas identificadas como quinua domesticada con fechados muy tempranos (5500-5000 A.C.). Sin embargo, dataciones efectuadas posteriormente al material arqueobotánico (e.g. porotos o frijoles) del mismo contexto, revelaron fechados más recientes. Esto conduce a pensar que es poco probable que estas quinuas sean tan antiguas (Browman et al. 2005).

Dillehay et al. (2007) presentan evidencia de *Chenopodium* en sitios del Valle de Ñanchoc (Noroeste de Perú) (Figura 1 sector 4), las cuales por su asociación a un fogón datado, se las ubica cronológicamente entre el 5500-6000 A.C. Se presentan carbonizadas y secas, y su identificación como *C. quinoa* no puede ser confirmada debido a la presencia de acanaladuras en la semilla, que la hace diferente a las muestras de herbario.

Pearsall (1980, 1989) midió semillas de



*Chenopodium* de las Cuevas Pachamachay y Panaulauca (ca. 3000 A.C.) en Junín, sitios que representan la transición de cazadores y recolectores a agricultores y pastores, y propuso que fueron domesticadas por su tamaño (0.75-1.00mm). Nordstrom (1990) examinó las semillas de Panalauca y del sitio Pancan y confirmó que había semillas con testas delgadas y lisas, o sea domesticadas. Las semillas provienen de contextos que tienen fechados entre 3000 -700 A.C.. Pearsall (2008) propone que el cultivo de quinua puede haber empezado alrededor de 3000 A.C.

Por la cordillera andina al oeste del lago Titicaca, Eisentraut (1998) estudió muestras arqueobotánicas de los sitios Quelcatani del Arcaico Tardío-Formativo Temprano (5000-1000 A.C.), y Camata del Formativo (1500-800 A.C.). Entre varias especies silvestres, identificó semillas de quinua domesticada y silvestre (*quinua negra*). Aunque algunas semillas domesticadas provinieron de una capa asociada con el periodo Arcaico Tardío, un fechado directo a una semilla de quinua produjo una fecha del periodo Formativo Temprano (740±50 A.C.). Por su parte, Murray (2005) identificó granos de *Chenopodium* en el sitio Jiskairumoko, ubicado temporalmente en el periodo Arcaico Tardío (ca. 3400-2000 A.C.). Sin embargo, fechados tomados directamente por las semillas resultaron en fechas Formativas (comunicación personal Mark Aldenderfer). No obstante, por la presencia de semillas domesticadas en varios sitios Formativos en la costa norte (Rosen 2010), los Andes centrales, y la cuenca de Lago Titicaca podemos proponer que el proceso de la domesticación empezó antes que 3000 A.C.

D'Altroy y Hastorf (1984) dan a conocer en su análisis a estructuras de almacenamiento inkas (*qollqas*) en el Valle de Mantaro, la presencia de *Chenopodium* sp., considerándolas quinua, junto a otros productos vegetales y tiestos cerámicos que dan cuenta de la forma de almacenar los granos. En su estudio determinan el almacenamiento diferenciado de productos (solo maíz, solo quinua, o de todos los cultivos juntos—maíz, quinua, poroto o frijol). Posteriormente, Hastorf (1990, 2002), en su investigación arqueobotánica a lo largo de las fases Wanka (iniciadas hacia el 1000 D.C.), estudia la organización de los grupos que habitaron la región

y su sistema de extracción controlada de recursos a lo largo de los Andes. Tras la identificación de *Chenopodium* sp., posible quinua, en el valle de Mantaro, infiere su consumo y producción junto a otros vegetales. Evalúa también los cambios en el patrón de asentamiento asociados a la producción de quinua, que se incrementa cuando la movilidad se dirige hacia regiones de mayor altitud, mientras que disminuye en dirección contraria. También evidencia que, contrariamente a lo que sucede con el maíz, la quinua no refleja un consumo diferencial dentro de la sociedad, entre elites y trabajadores. Asimismo, concluye que si bien el maíz fue el foco principal de producción Inka, dependiendo de las zonas productivas, otros recursos eran también importantes.

### Conclusiones

En este trabajo, en que se ofrece un recorrido por cuatro distintas áreas geográficas y culturales andinas, es posible constatar que en la información disponible existen tanto divergencias como convergencias en los tratamientos y modos de aproximación a comprender la historia de la quinua, su importancia económica así como sus implicancias sociales, rituales y políticas.

Los estudios arqueológicos explicitan el consumo de especies silvestres de *Chenopodium* por los cazadores y recolectores de los periodos arcaicos (entre 8000-3000 A.C.) en Perú, Argentina y Chile. Aunque no tenemos evidencia directa de sus intervenciones, fueron estas poblaciones las que iniciaron los cambios que resultaron en la domesticación de la quinua. Si bien todavía falta mucho en determinar cuándo y dónde la quinua fue domesticada, los datos disponibles sugieren que ocurrió en los Andes centro-sur antes de 3000 A.C. Esta afirmación es posible gracias a la presencia de semillas domesticadas en los países ya mencionados después de esta fecha y por la datación radiocarbónica directa a la quinua arqueológica alrededor de 2000 A.C. en la cordillera de Chile central.

Más allá de las zonas de origen/domesticación, cada área presenta particularidades en los nichos culturales donde se acoge la adquisición y utilización de este pseudocereal. Una vez domesticada encontramos la quinua como base de la subsistencia de las sociedades desde el



Formativo hasta el Imperio Inka. Encontramos sus restos tanto en contextos domésticos, reflejando su incorporación en la dieta, como en contextos rituales, funerarios y políticos, siendo parte de comidas comunitarias. Aunque parece perder importancia en contextos políticos al lado del maíz en los estados Tiwanaku (Goldstein 2003) e Inka, la quinua mantiene un rol significativo en las dietas de las comunidades que habitan las regiones frías y áridas.

Las recientes investigaciones tanto a nivel local como regional, sumadas a los hallazgos e identificación de variedades no registradas anteriormente, abren nuevas perspectivas al intercambio de conocimiento y a revalorizar el rol de *Chenopodium* en la alimentación de los pueblos originarios. Asimismo, favorecen la continuidad de su cultivo y su creciente aceptación en las mesas occidentales.

### Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Magdalena García y Alejandra Vidal por darnos la oportunidad de conocer manuscritos importantísimos de sus estudios arqueobotánicos en el Norte de Chile; a Norma Ratto y Pablo Cruz por proporcionar información de sus sitios arqueológicos y el material arqueobotánico para su análisis; y a Christine Hastorf y Mark Aldenderfer quienes compartieron reportes e información no publicado sobre hallazgos de quinua de sus sitios arqueológicos. Asimismo a FONDECYT (Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, Chile) y a CONICET (Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Argentina) por el apoyo financiero en los proyectos de investigación arqueobotánica.

### Referencias

Aguirre MG (2007) Arqueobotánica del sitio Peñas Chicas 1.3 (Antofagasta de la Sierra, Catamarca, Argentina). En Marconetto B, P Babot & N Oliszewski (comp). *Paleoetnobotánica del Cono Sur: Estudios de casos y propuestas metodológicas*, 179-196. Ferreyra Editor, Museo de Antropología FFyH-UNC. Córdoba.

Amuedo C (2010) La experiencia de la muerte y su relación con las prácticas de almacenamiento y consumo en el valle Calchaquí norte durante el Período Tardío. *Actas Congreso Nacional de*

*Arqueología Argentina* Tomo II:681-686.

Arriaza B & V Standen (2002) *La Cultura Chinchorro. Muerte, momias y ritos ancestrales*. 60 p. Ediciones Universidad de Tarapacá.

Babot MP (2004) *Tecnología y Utilización de Artefactos de Molienda en el Noroeste Prehispánico*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales e I.M.L. Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán.

Belmar C & L Quiroz (2004) Recursos vegetales y modos de explotación. ¿Qué nos dicen las plantas acerca de sus consumidores? Un estudio de sitios Diaguita en los valles de los ríos Illapel y Chalinga. IV Región. *Revista Werken* 5:53-60.

Bertero HD (2007) Quinoas de “nivel de mar”, resultado de una domesticación independiente?. *Libro de Resúmenes Congreso Internacional de la Quinua* 27.

Bertero HD, R Joffre, T Winkel, MM Manifiesto, MP Babot, MG Aguirre, C del Castillo, M-P Dubois, S Costa Tártara & CM Arizio (2013). Proyecto Archaeoquinuas: estudio del proceso de domesticación, la variabilidad y dispersión de quinua en los Andes Centro-Sur. In Bárcena JR & SE Martín (eds). *Arqueología Argentina en el Bicentenario de la Asamblea General Constituyente del Año 1813. Libro de Resúmenes del XVIII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, Universidad Nacional de La Rioja, La Rioja, 582-583.

Browman DL (1989) Chenopod Cultivation, lacustrine Resources, and Fuel Use at Chiripa, Bolivia. En Voigt EE & DM Pearsall (eds). *New World Paleoethnobotany: Collected Papers in Honor of Leonard W. Blake*, 137-172. Special Issue Missouri Archaeologist. Missouri Archaeological Society, Columbia.

Browman DL, GJ Fritz & PJ Watson (2005) Origins of Food-Producing Economies in the Americas. En Scarre C (ed) *The Human Past: World Prehistory and the Development of Human Societies*, 306-349. Thames & Hudson, New York.

Bruno MC (2006) A Morphological Approach to Documenting the Domestication of *Chenopodium* in The Andes. En Zeder M, D Bradley, E Emshwiller & B Smith (eds). *Documenting domestication*.

*New Genetic and Archaeological Paradigm*, 32-45. University of California Press, Berkeley.

Bruno MC (2008) *Waranq waranqa: ethnobotanical perspectives on agricultural intensification in the Lake Titicaca basin (Taraco peninsula, Bolivia)*. PhD Dissertation. Missouri.

Bruno MC & WT Whitehead (2003) *Chenopodium* Cultivation and Formative Period Agriculture at Chiripa, Bolivia. *Latin American Antiquity* 14(3):339-355.

Caló CM (2010) *Plantas útiles y prácticas cotidianas entre los aldeanos al sur de los Valles Calchaquíes (600aC-900dC)*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata, Argentina.

Castro V & M Tarragó (1992) Los inicios de la producción de alimentos en el cono sur de América. *Revista de Arqueología Americana* 6:91-124.

Ceccato D (2011) Efecto de las condiciones ambientales durante el desarrollo, maduración y almacenamiento sobre la dormición en semillas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) con tolerancia potencial al brotado pre-cosecha. Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Cornejo L, M Saavedra & H Vera (1998) Periodificación del Arcaico en Chile Central. Una propuesta. *Boletín de la Sociedad Chilena de Arqueología* 25: 36-39

Costa Tártara SM, R Curti, MM Manifiesto, SJ Bramardi & HD Bertero (2013) Corredores longitudinales en la difusión de quinoa en los Andes del Sur. Trabajo presentado en IV Congreso Mundial de la Quinoa. I Simposio Internacional de Granos Andinos. Julio 2013, Ecuador.

Curti R, A Andrade, S Bramardi, B Velázquez & HD Bertero (2012) Ecogeographic structure of phenotypic diversity in cultivates populations of quinoa from Northwest Argentina. *Annals of Applied Biology* 160:114-125

D'Altroy T & C Hastorf (1984) The distribution and contents of Inca state storehouses in the Xauxa región of Peru. *American Antiquity* 49:334-349.

D'Altroy T, AM Lorandi, V Williams, M Calderari, C Hastorf, E DeMarrais & M Hagstrum (2000) Inka

Rule in the Northern Calchaquí Valley, Argentina. *Journal of Field Archaeology* 27(1): 1-26.

Dillehay TD, J Rossen, TC Andres & DE Williams (2007) Preceramic Adoption of Peanut, Squash, and Cotton in Northern Peru. *Science* 316:1890-1893.

Eisentraut PJ (1998) *Macrobotanical Remains from Southern Peru: A Comparison of Late Archaic-Early Formative Period Sites from the Puna and Suni Zones of the Western Titicaca Basin*. Dissertation, University of California, Santa Barbara.

Erickson CL (1979) *Chiripa Ethnobotanical Report: Flotation Recovered Archaeological Remains from an Early Settled Village on the Altiplano of Bolivia*. Thesis, Washington University in St. Louis.

Falabella F, MT Planella & RH Tykot (2008) El maíz (*Zea mays*) en el mundo prehispánico de Chile central. *Latin American Antiquity* 19(1):25-46.

Fuentes FF, PJ Maughan & ER Jellen (2009) Diversidad genética y recursos genéticos para el mejoramiento de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Geográfica de Valparaíso* 42:20-33.

Gambier M (2002) Las Quinas: Un nuevo sitio de la Cultura de La Aguada en San Juan. *Estudios Atacameños* 24:83-88.

Garceau CH, V McRostie, R Labarca, F Rivera & R Stehberg (2010) Investigación arqueológica en el sitio Tambo Ojos de Agua. Cordillera del Aconcagua. *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena* Tomo I: 351-361.

García M & A Vidal (2006) Distribución y contexto de uso de las plantas arqueológicas del asentamiento Camiña-1 (1.250-1.450 DC) región de Tarapacá. *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena* 1.226-1.235.

Gil A & G Neme (2010) Registro Arqueológico en la Cuenca Media del Atuel: Viejos y Nuevos Problemas; Viejos y Nuevos Datos. En Zárate M, A Gil & G Neme (comps). *Condiciones paleoambientales y ocupaciones humanas durante la transición Pleistoceno-Holoceno y Holoceno de Mendoza*, 239-276. Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires.

Goldstein, P (2003) From Stew-eaters to Maize Drinkers, The Chicha Economy and the Tiwanaku Expansion. En Bray, TL (ed.) *The Archaeology of*

*Politics of Food and Feasting in Early States and Empires*, 143-172. Springer, New York.

Hastorf C (1990) The effect of the Inka State on Sausa agricultural production and crop consumption. *American Antiquity* 55(2):262-290.

Hastorf C (2002) Agriculture Production and Consumption. En D'Altroy J & C Hastorf y Asociados. *Empire and Domestic Economy*, Cap. 7:155-178. Kluwer Academic, New York.

Hernández A, H Lagiglia & A Gil (1999-2000) El registro arqueobotánico en el sitio "Agua de los Caballos 1" (San Rafael, Mendoza). *Anales de Arqueología y Etnología* 54-55:181-203

Holden T (1991) Evidences of prehistoric diet from northern Chile: coprolites gut contents and flotation samples from Tulan quebrada. *World archaeology* 22(3):312-321.

Hunziker A (1943) Granos hallados en el yacimiento arqueológico de Pampa Grande (Salta, Argentina). *Revista Argentina de Agronomía* 10:146-154.

Kidder A (1956) Digging in the Titicaca Basin. *University of Pennsylvania Museum Bulletin* 20(3):16-29.

Kistler, M & B Shapiro (2011) Ancient DNA confirms a local origin of domesticated chenopod in Eastern North America. *Journal of Archaeological Science* 38(12):3549-3554.

Korstanje MA (2005) *La Organización del Trabajo en torno a la Producción de Alimentos en Sociedades Agropastoriles Formativas (Provincia de Catamarca, República Argentina)*. Tesis doctoral. Instituto de Arqueología y Museo. Universidad Nacional de Tucumán.

Lagiglia H (2001) Los orígenes de la agricultura en la Argentina. En Berberian EE & AE Nielsen (eds). *Historia Argentina Prehispánica*, Tomo 1:41-81. Editorial Brujas, Córdoba.

Lagiglia H (2005). Un recurso alimenticio prehistórico. La quinoa en Cuyo (*Chenopodium quinoa* y especies afines de las familias de las Chenopodiáceas y Amaranthaceas). *Notas del Museo* (Museo de Historia Natural de San Rafael) N°56.

Langlie B (2008) *Paleoethnobotanical Analysis of Formative Chiripa, Bolivia*. Senior Honor's Thesis, University of California, Berkeley.

Langlie B, CA Hastorf, MC Bruno, M Bermann, RM Bonzani & W Castellón Condarco (2011) Diversity in Andean *Chenopodium* Domestication: Describing a New Morphological Type from La Barca, Bolivia, 1300-1250 B.C. *Journal of Ethnobiology* 31(1):72-88.

Lennstrom HA (1992) Botanical remains from the Calchaquí Archaeological Project 1990. *Archaeobotany Laboratory Report* No 29. University of Minnesota.

López ML (2012) *Estudio de macro y micro restos de quinoa de contextos arqueológicos del último milenio en dos regiones circumpuneñas*. Tesis doctoral, Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba.

López ML & A Nielsen (2012) Macrorrestos de *Chenopodium quinoa* Willd. en la plaza de Laqaya (Nor Lipez, Potosí, Bolivia). *Revista Intersecciones en Antropología* 14:295-300.

López ML, MC Bruno & MT Planella (on press) El género *Chenopodium*: metodología aplicada a la identificación taxonómica en ejemplares arqueológicos. Presentación de casos de estudio de la región sur-andina. En Belmar C & VS Lema (eds). *Avances y desafíos metodológicos en arqueobotánica: miradas consensuadas y diálogos compartidos desde Sudamérica*.

López ML, A Capparelli & A Nielsen (2012) Procesamiento pre-consumo de granos de quinoa (*Chenopodium quinoa* – Chenopodiaceae) en momentos prehispánicos tardíos en el Norte de Lipez (Potosí, Bolivia). *Darwiniana* 50(2):187-206.

Lumbreras L (2003) Orígenes del habitante de los Andes. En Monge C & F. León-Velarde (eds). *El reto fisiológico de vivir en Los Andes*, 41-82. IFEA, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima.

Martínez A (2012) Evaluación del sitio Cerro La Cruz dentro de las estrategias de dominio incaico en el curso medio del Aconcagua. *Actas del XVIII Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, 431-440.

Massone M, C Silva, R Labarca & S Haberle (2012) Los recursos vegetales de los grupos El Vergel en la isla Santa María (siglos X al XVI DC). *Actas del XVIII Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, 441-449.

McRostie V (2007) *La transición Arcaico Formativo en la quebrada de Tulán, sur del Salar de Atacama, Chile*. *Evidencias arqueobotánicas*. Memoria

para optar al título profesional de Arqueólogo. Departamento de Antropología, Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile.

Mujica A, J Izquierdo & JP Marathee (2001) Origen y descripción de la quinua. En Mujica A, SE Jacobsen, J Izquierdo & JP Marathee (eds). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. Capítulo 1. FAO, Santiago.

Murray AP (2005) *Chenopodium Domestication in the South-Central Andes: Confirming the Presence of Domesticates at Jiskairumoko (Late Archaic-Formative), Peru*. Thesis, California State University, Fullerton.

Muscio HJ (2004) *Dinámica poblacional y evolución durante el Período Agroalfarero Temprano en el Valle de San Antonio de los Cobres, Puna de Salta, Argentina*. Tesis Doctoral, Facultad de Filosofía y letras, Universidad de Buenos Aires.

Nielsen A, CI Angiorama, J Maryańsky, ML López & F Ávila (2013) La organización del espacio en la subregion San Juan Mayo durante el period de Desarrollos Regionales. *Actas de Resúmenes XVIII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*. La Rioja, Abril 2013.

Nordstrom C (1990) Evidence for the Domestication of *Chenopodium* in the Andes. Report to the National Science Foundation. *Archaeobotany Laboratory. Report* University of California Berkeley Laboratory

Núñez L (1986) Evidencias arcaicas de maíces y cuyes en Tiliviche: hacia un semisedentarismo en el litoral fértil y quebradas del norte de Chile. *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 16-17: 25-47.

Núñez L, I Cartajena, C Carrasco & P De Souza (2002-2005) *Transición del Arcaico Tardío al Formativo Temprano en la cuenca de Atacama: emergencia de la Complejidad Socio Cultural en la subárea Circumpuneña*. Informes Proyecto Fondecyt 1020316.

Núñez L, V McRostie & I Cartajena (2009) Consideraciones sobre la recolección vegetal y la horticultura durante el formativo temprano en el sureste de la cuenca de Atacama. *Darwiniana* 47(1):56-75.

Olivera D (2006) Recursos bióticos y subsistencia en sociedades agro-pastoriles de la Puna Meridional Argentina. *Comechingonia* 9:19-56.

Pearsall DM (1980) Ethnobotanical Report: Plant Utilization at a Hunting Base Camp. En J Rick (ed). *Prehistoric Hunters of the High Andes*, 191-231. Academic Press, New York.

Pearsall DM (1989) Adaptation of Prehistoric Hunter-Gatherers in the High Andes: the Changing Role of Plant Resources. En D Harris & G Hillman (eds). *Foraging and Farming*, 318-332. Unwin Hyman, Londres.

Pearsall DM (2008) Plant Domestication and the Shift to Agriculture in the Andes. En H Silverman & WH Isbell (eds). *Handbook of South American Archaeology*, 105-120. Springer Science+Business media, LLC, New York.

Planella MT (2005) Cultígenos prehispanos en contextos Llolleo y Aconcagua en el área de desembocadura del río Maipo. *Boletín de la Sociedad Chilena de Arqueología* 38:9-23.

Planella MT & B Tagle (1998) El sitio agroalfarero temprano de La Granja: un aporte desde la perspectiva arqueobotánica. *Publicación Ocasional* (Museo Nacional de Historia Natural) N° 52.

Planella MT & B Tagle (2004) Inicios de presencia de cultígenos en la zona central de Chile, períodos Arcaico y Agroalfarero Temprano. *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 36(2): 387-400.

Planella MT, L Cornejo & B Tagle (2005) Alero Las Morrenas 1: evidencias de cultígenos entre cazadores recolectores de finales del período Arcaico en Chile Central. *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 37:59-74.

Planella MT, V McRostie & F Falabella (2010) El aporte arqueobotánico al conocimiento de los recursos vegetales en la población alfarera temprana del sitio El Mercurio. *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena*: 1255-1265.

Planella MT, R Scherson & V McRostie (2011) Sitio El Plomo y nuevos registros de cultígenos iniciales en cazadores del Arcaico IV en Alto Maipo, Chile Central. *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 43(2):189-202.



- Quiroz L & C Belmar (2004) Reflexión sobre las estrategias de explotación de recursos vegetales a partir de la evidencia arqueobotánica de tres sitios de la región central de Chile: Radio Estación Naval, El Cebollar y Lonquén (E 80-4). *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 36(2):1109-1119).
- Rivas P & J González (2008) Las Brisas-3, sitio Agroalfarero Temprano en Santo Domingo, V Región, Chile. *Revista Clava* 7:27-49.
- Rivera M, D Shea, A Carevic & G Graffam (1995) En torno a los orígenes de las sociedades complejas andinas: excavaciones en Ramaditas, una aldea formativa del desierto de Atacama, Chile. *Diálogo Andino* 14-15:205-239.
- Smith BD (1992) *Rivers of Change. Essays on Early Agriculture in Eastern North America*, 302 p. Smithsonian Institution Press, Washington and London.
- Rodríguez MF, ZE Rúgolo de Agrasar & CA Aschero (2006) El uso de las plantas en unidades domésticas del sitio arqueológico Punta de la Peña 4, Puna Meridional Argentina. *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 38(2):257-271.
- Rossen J, MT Planella & R Stehberg (2010) Archaeobotany of Cerro del Inga, Chile, at the Southern Inka Frontier. En Malpass M & S Alconini (eds). *Distant Provinces in the Inka Empire*, 14-43. University of Iowa Press, Iowa City.
- Tagle B & MT Planella (2002) *La quinoa en la zona central de Chile. Supervivencia de una tradición prehispana*. 117 p. Editorial IKU, Santiago.
- Tapia M (1979) Historia y Distribución geográfica. En Tapia M, H Gandarillas, S Alandia, A Cardozo, A Mujica, R Ortiz, V Otazu, J Rea, B Salas, & E Zanabria (eds). *Quinoa y Kañiwa. Cultivos andinos*, 11-19. Editorial IICA, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), Colombia.
- Towle MA (1961) *The Ethnobotany of Pre-Columbian Peru*. 183 p. Viking Publications in Anthropology 30, Aldine, Chicago.
- Tykot RH, F Falabella, MT Planella, E Aspillaga, L Sanhueza & C Becker (2009) Stable isotopes and archaeology in Central Chile: methodological insights and interpretative problems for dietary reconstruction. *International Journal of Osteoarchaeology* 19:156-170.
- Uhle M (1919) La arqueología de Arica y Tacna. *Boletín de la Sociedad Ecuatoriana de Estudios Históricos Americanos* 3(7-8):1-48.
- Vidal A, (2007) *Patrones de uso de los recursos vegetales durante el período Formativo (1000 AC – 500 DC) en San Pedro de Atacama: oasis y quebradas*. Memoria para optar al título profesional de Arqueóloga. Departamento de Antropología, Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile.
- Whitehead WT (2007) *Exploring the Wild and Domestic: Paleoethnobotany at Chiripa, a Formative Site in Bolivia*. Dissertation, University of California, Berkeley.
- Wilson H (1981) Domesticated *Chenopodium* of the Ozark Bluff Dwellers. *Economic Botany* 35(2):233-239.
- Wilson H (1988) Quinoa Biosystematics I. Domesticated Populations. *Economic Botany* 42(4):461-477.
- Wilson H (1990) Quinoa and relatives (*Chenopodium* sect. *Chenopodium* subsect. *Cellulata*). *Economic Botany* 44:92-110.
- Wright MF, CA Hastorf & HA Lennstrom (2003) Prehispanic Agriculture and Plant use at Tiwanaku: Social and Political Implications. En Kolata AL (ed). *Tiwanaku and Its Hinterland: Archaeological and Paleoecological Investigations of an Andean Civilization*, vol. 2:384-403. Urban and Rural Archaeology, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.
- Zeder, MA, E Emshwiller, BD Smith, & DG Bradley (2006) Documenting Domestication: The Intersection of Genetics and Archaeology. *Trends in Genetics* 22(3):139-155.



## CAPÍTULO 1.4

# DINÁMICA DE EXPANSIÓN MUNDIAL DEL CULTIVO DE LA QUINUA RESPECTO A SU ALTA BIODIVERSIDAD.

\*Autor para correspondencia: Didier BAZILE <didier.bazile@cirad.fr>

Autores:

DIDIER BAZILE<sup>a</sup>, FLORA BAUDRON<sup>a</sup>

<sup>a</sup> UPR GREEN; CIRAD-ES; TA C-47/F; Campus International de Baillarguet; 34398 Montpellier Cedex 5 – FRANCE.

## Resumen

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) fue domesticada por primera vez en los países andinos hace más de 5000 años. Desde la conquista española fue rechazada y se consideraba simplemente como una “comida india”. Su potencial fue redescubierto durante la segunda parte del siglo XX y desde entonces, el número de países cultivándola pasó de 6 a 13, mientras que otros 23 países se encuentran en fase de experimentación activa para iniciar próximamente una producción de campo y 20 países más están programando sembrar la quinua por primera vez en el 2014. El impacto de la organización de investigación ha sido alto, creando vínculos e alianzas estratégicas entre países como en el caso del programa CIP/DANIDA en los años 90’ a nivel mundial o más recién con los ensayos del proyecto europeo SWUP-MED en los alrededores del mar Mediterráneo. A través del establecimiento de redes de investigadores en todo el mundo, se asociaron países por afinidades ya que por ejemplo el Reino Unido hizo contactos privilegiados con la India, Australia, China y Nepal. Hoy en día, los centros de experimentación se están ubicados en nuevos países que no eran importadores de quinua antes. Aunque la mayor parte de la producción y de la publicación de los resultados científicos se basa en los trabajos de los países andinos (especialmente Bolivia y Perú), la

investigación se está extendiendo en todo el mundo y trabajando en nuevos temas, como la virología, la dietética, el procesamiento de quinua para varios usos no solo alimenticios. Los países de América del Sur deban ahora enfrentar la competencia mundial respecto al mejoramiento de las variedades de quinoa y pensar en la posible competencia entre países para acceder a los nuevos mercados. Es por eso que unos de ellos ya tienen Certificado de Obtención Vegetal (COV) para proteger sus variedades mejoradas o lo solicitan. Pero eso abre una grande brecha para conservación de los recursos fitogenéticos a través de la cuestión del reconocimiento de las variedades campesinas locales y sus usos en los futuros programas de mejoramiento.

## Introducción

El género *Chenopodium* (Chenopodiaceae) incluye cerca de 150 especies que en su mayoría son plantas herbáceas anuales que ocupan grandes áreas en América, Asia y Europa, aunque algunos también son perennes y arborescentes. El género es cosmopolita, significa que se puede adaptar en cualquier ambiente del mundo, pero se concentra principalmente en las regiones templadas y subtropicales. Dado a su gran plasticidad ecológica y rusticidad, el género ha proporcionado un número alto de especies gracias a un proceso largo de adaptación y diversificación para sobrevivir en ambientes con fuertes limitantes

biofísicas. Debido a eso, la mayoría de sus especies son componentes principales de ambientes áridos y/o salinos. Hoy en día, por un lado, los *Chenopodium* cultivados y especialmente *C. quinoa*, están ganando importancia por su excelente calidad de proteínas (buen equilibrio entre todos los ácidos aminos) y alto contenido de una variedad de minerales y vitaminas (Vegas-Gálvez et al, 2010). Su aporte potencial a la seguridad alimentaria mundial está reconocido en la declaración del Año Internacional de la Quinoa (AIQ, 2013) (Small, 2013). Pero por otro lado, la quinoa representa una alternativa como nuevo cultivo frente a los cambios globales (Jacobsen, 2003; National Academy of Sciences, 1975; Schlick y Bubenheim, 1996). Así, el aumento de la tasa de salinización de las tierras agrícolas, debido a una intensificación por la agricultura convencional desde los años 60', conduce en primer lugar a un decrecimiento de la producción agrícola y luego, según el lugar, al abandono de las parcelas degradadas. La tolerancia de la quinoa a suelos salinos ofrece una alternativa no solo para recuperar estas tierras sino que para producir al mismo tiempo alimentos de alto valor nutricional. Considerando la emperoración del clima dentro de los cambios globales, la resistencia de la quinoa a la sequía genera expectativas para regiones del mundo que están muy afectadas por estos factores.

Domesticada por los agricultores de los países andinos, rechazados durante la invasión española o reconocida hoy alrededor del mundo, la historia de la quinoa es rica y compleja. Como todos los cultivos desde su domesticación, la historia de la quinoa y su diversidad es directamente vinculada a las actividades humanas (Bermejo y León. 1994). Los últimos 60 años han sido un paso importante en la expansión del cultivo y de su experimentación, adaptación y mejoramiento para varios ambientes del mundo. En este capítulo, se trata de explicar cómo se extendió el área de cultivo de la quinoa de 6 a 56 países y hoy en día, en 2014, con casi 20 otros países más que quieren probarla.

Para entender bien las dinámicas actuales, se tiene que considerar que el interés por la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) no es reciente y no solo considera la quinoa como única especie del género *Chenopodium*, sino que existen relaciones muy estrechas entre especies de este género. Las especificidades actuales consideran más la aceleración de su propagación a nivel mundial, a partir de los años 70' como grano para consumidores

del hemisferio norte y hoy día con una voluntad amplia para introducirla como nuevo cultivo en todos los continentes. Las dinámicas actuales modifican los recientes equilibrios entre productores y consumidores establecidos entre 1990 y 2010. La difusión mundial de la quinoa genera así nuevas expectativas para muchos países pero modifica en profundidad los equilibrios para mantener una producción sustentable en los países andinos para contestar a la explosión de la demanda internacional (Bazile, 2014; Jacobsen, 2011, 2012; Winkel et al). Por otro lado, se están desarrollando nuevas relaciones entre países no solo respecto al comercio de granos sino que para establecer reglas y normas para el acceso a semillas de quinoa. Las tensiones actuales sobre la circulación de los recursos genéticos y semillas de quinoa, necesitan un dialogo a nivel mundial considerando la necesidad de una nueva gobernanza mundial para adaptarse a la transición ecológica que ya está en camino en muchos países para cambiar el modelo agrícola.

Si en el pasado, la importancia de las redes de investigadores a través colaboraciones informales ha permitido dar a conocer el cultivo de quinoa y experimentarlo en varios lugares y regiones del mundo, lo que aparecería como un ventaja en esta época necesita más transparencia hoy día para adaptarse a los instrumentos legales a nivel internacional participando al reconocimiento de los pueblos andinos en la creación y el mantenimiento de la biodiversidad de la quinoa.

En conclusión del capítulo, mostramos que entre los desafíos para adquirir nuevos conocimientos respecto a la planta de quinoa, su origen y dinámica evolutiva, su adaptación y su mejoramiento, la importancia de compartir entre agricultores, investigadores y políticos de todo el mundo aparece como primordial para avanzar juntos con todos los actores interesados en la valorización de esta planta.

### La mundialización de la quinoa: un hecho histórico

La distribución mundial del género *Chenopodium* tiene raíces antiguas que hay que estudiar en profundidad, además de la diversidad de especies de este género, para entender bien el desarrollo actual de la quinoa cultivada. Así se tiene que considerar como un hecho histórico que el uso de hojas y de semillas de *Chenopodium* para la alimentación humana no es exclusivo de la región andina. En los Himalayas, hace mucho tiempo que se cultiva

una especie de *Chenopodiaceae* (clasificada como *Chenopodium album*) en altitudes que van de los 1500 hasta 3000 m.s.n.m (Hooker, 1885; 1952; Partap, 1982). Cuando Stewart (1869) describió la flora completa de la región del Punjab al Norte de India, ya se mencionaba la presencia de tres grupos de *Chenopodium* en la zona de estudio:

- *Chenopodium álbum* L. correspondía a una maleza frecuente en los planicies y aparece también en altura entre 2.600 y 4.100 m.s.n.m. en la región del Ladack donde la planta estaba a veces utilizada en “pot-herb” o sopa.
- *Chenopodium murale* L. estaba presente en las planicies donde también se consumía en “pot-herb”.
- *Chenopodium* sp. integraba un complejo de dos especies (*C. album* and *C. quinua*) que estaban cultivadas en las regiones del Himalaya del Punjab, y más precisamente en las zonas de alturas (1700-2700 m.s.n.m.) de la cuenca del río Ravi como también más en altura en el Kashmir y el Ladack. La planta estaba cultivada para sus hojas consumidas en “pot-herb” pero estos *Chenopodium* estaban principalmente cultivados por sus granos considerados mejores que los del alforfón (*buckwheat*) (Singh y Thomas, 1978).

El documento de Stewart tiene un valor histórico considerable para entender más las relaciones filogénicas debido a contactos en ciertas épocas entre las especies del género *Chenopodium*. También, considerando los usos que orientan la selección de las plantas, se puede notar una misma lógica entre los pueblos de las montañas de los Andes y los del Himalaya. Los estudios etnobotánicos de Partap y Kapoor (1985a) revelan que el grupo de *Chenopodium* utilizado por sus granos en el Himalaya correspondía a un cultivo menor de alimentos de subsistencia para muchas comunidades aisladas en las montañas de la cordillera del Himalaya medio. El consumo de estos granos puede ser asociado con las comunidades que viven en altitud y forma parte del hábito de la comida de la gente consumido en diversas formas desde tiempos inmemoriales. Los autores lo describen como un cultivo de verano inserto en sistemas de cultivos mixtos (mijo, arroz, papas, maíz y frijol) (Partap y Kapoor, 1987b).

El análisis que hicieron Partap y Kapoor (1985b) de los *Chenopodiaceae* del Himalaya consumidos en

granos muestra que estaban considerados como formas domesticadas de *Chenopodium album* L. Como exhibían una gran diversidad morfológica, los autores seleccionaron cuatro variedades reconocidas localmente por los agricultores para desarrollar un análisis agro-morfológico (Partap y Upadhy, 1987b). Tres cultivares de los cuatro (el negro, el marrón y el rojo) presentaron una morfología similar y sólo se diferenciaban en el polimorfismo de semillas. En los resultados había suficiente evidencia para reconocerlos como la especie *C. album* L. domesticada. El tipo de polimorfismo de semillas encontrado en estos cultivares nos da una indicación más de su estrecha relación con la forma no-domesticada de *C. album* L. Pues los autores presentan el cuarto cultivar como muy distinto de los anteriores y mencionan sus dudas sobre sus estrechas relaciones taxonómicas, ya sea con *C. album* L. y *C. quinua* Willd.

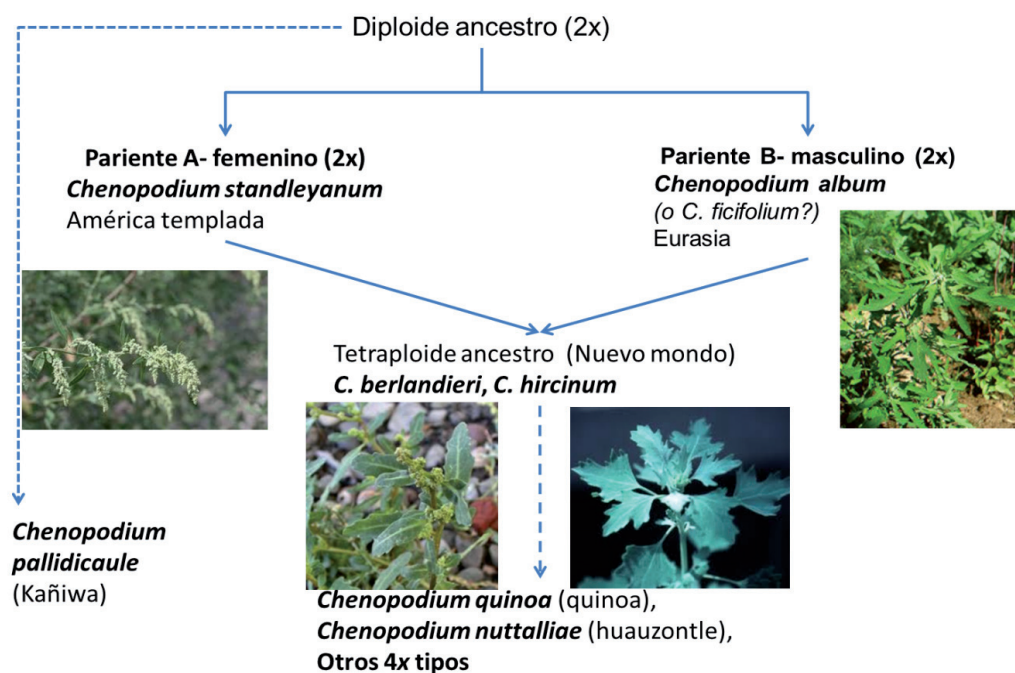
Pero, la publicación de Stewart se presenta también con un testimonio de la inserción precoz de la quinua en la globalización respecto a intercambios de semillas a nivel mundial ya existentes en esta época:

“Within the last year, considerable stir has been made by correspondents of the Agri-Horticultural Society of India, regarding the introduction into the Himalaya of the *C. quinua* Willd. of the Andes; and the Society made arrangements to get a supply of seed, which has arrived and been distributed. The original proposition appears to have been made in ignorance the fact that a *C. is* cultivated extensively in the Himalaya, and there seems reason to doubt if very much would be gained from the introduction of the quinoa in these mountains, where cereals are cultivated to quite as high elevations as men can occupy throughout the year”. (Stewart, 1869)

La misma especie *Chenopodium álbum* L. presente en toda la zona geográfica delimitada como Eurasia (Uotila, 1978) es hoy en día considerada como una maleza cosmopolita en Europa (ver capítulo 6.11) para los cereales aunque fue un cultivo secundario y parte de la alimentación humana de acuerdo a los restos humanos prehistóricos encontrados en Tollund (Dinamarca), y Cheshire (Inglaterra) (Helbaek 1950, 1954, 1958, 1960; Rowley-Conwy, 1982, 2000; Stokes y Rowley-Conwy, 2002). Aunque tenemos evidencias que la especie *Chenopodium álbum* L. tenía una importancia como cultivo en Europa, seguramente a través una forma domesticada como

existía también en los Himalayas, los investigadores y mejoradores concentraron sus esfuerzos en Europa para adaptar a los climas templados la quinua, *Chenopodium quinua* Willd, una especie tropical (Galwey, 1989, 1993; Risi y Galwey, 1984, 1989, 1991; Jacobsen, 1997). Se consideró, para los programas de mejoramiento, que este cultivo proveniente de las tierras altas de los Andes tuvo un crecimiento adaptado a las temperaturas relativamente bajas de las regiones de Europa del norte como Inglaterra y Dinamarca. Esta dirección dada al mejoramiento en esta época solo se basaba en el análisis de *C. album* como especie silvestre a partir de la cual sería difícil convertirla en un cultivo. Hoy en día, se podría revisar esta visión para utilizar más los recursos genéticos y las capacidades adaptativas de *C. album*.

También *Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae*, especie similar, se consume en México. Considerada solo como una especie silvestre en los Estados Unidos de América, *C. berlandieri* está estudiada por sus posibilidades de cruzamiento con *C. quinoa* para resistir a temperaturas altas. Sin entrar en mayores detalles en todo este género se puede destacar que los *Chenopodium* cultivados están ganando importancia. *Chenopodium quinua*, que ofrece una amplia adaptación para muchos entornos difíciles con resistencia a la sal y tolerancia a la sequía, comparte su nicho alimentario con dos especies estrechamente relacionadas, la cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y el huazontle (*Chenopodium nuttalliae*) que también se utilizan en estos momentos para la alimentación humana (Wilson & Heiser, 1979).



**Figura 1.** El origen de la quinua actual (adaptado de Jellen y Maughan, 2013)

A partir del estudio de la filogenia de la quinua, aparecen varias especies del género *Chenopodium* entre ellas, algunas se convirtieron en especies económicamente relevantes:

- *Chenopodium quinua* ( $2n = 36$ ) utilizada como un cultivo de grano;
- *Chenopodium pallidicaule* ( $2n = 18$ ) y *Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*

( $2n = 36$ ) que se utilizan tanto para granos y hortalizas;

- *Chenopodium album* ( $2n = 18, 36, 54$ ) que se utiliza principalmente como una verdura de hoja verde y cultivos para forraje;
- también algunos tipos del Himalaya (*C. album* y *C. quinua*) que se cultivan para sus granos y hojas.



Las especies de *Chenopodium* son bien conocidas por su uso culinario (ver capítulo 3.4) pero hay también usos en la medicina (ver capítulo 3.5).

Si nos relacionamos con el complejo proceso de la creación de la quinua a partir de sus diferentes ancestros silvestres (Heiser & Nelson, 1974; Nelson, 1968; Wilson, 1990), para explicar no solo su domesticación sino también las grandes etapas de su historia y considerando los aspectos genéticos de su dinámica evolutiva, podemos destacar cuatro momentos (Pearsall, D.M. 1992). La primera etapa de la vida de la quinua ha ocurrido cuando los dos ancestros diploides hibridan para crear la primera forma de quinua silvestre. Así se cruzaron un pariente femenino, *Chenopodium standleyanum* proveniente de la América templada, y un pariente masculino, *Chenopodium album* de Eurasia (otra hipótesis propone *C. ficifolium*) a través de un proceso de hibridación natural generando su ancestro tetraploide en el Nuevo Mundo (figura 1). *C. berlandieri* y *C. hircinum* corresponden a formas de tetraploides derivadas de este ancestro tetraploide partir de las cuales la domesticación del ancestro de la quinua actual fue posible generando la segunda etapa de su evolución (Jellen y Maughan, 2013).

Un “primer cuello de botella” en la diversidad genética de la quinua puede haber ocurrido cuando los dos ancestros diploides hibridan para crear la quinua silvestre. Un “segundo cuello de botella” podría haber ocurrido cuando la quinua fue domesticada a partir de ancestros silvestres tetraploide (Fuentes, Maughan y Jellen, 2009). Esto podría explicar la capacidad permanente de la quinua para tener unos cruzamientos con otras especies tetraploides (Wilson y Manhart, 1993), y de hecho de tener múltiples formas. La importancia de este segundo cuello de botella es directamente dependiente de la primera e implica la presencia de una cantidad relativamente pequeña de la diversidad genética apta para compartir de forma transversal con sus parientes silvestres compatibles (Fuentes *et al.* 2009).

Los intercambios de semillas y circulación de la quinua a nivel de América latina han generado cinco ecotipos asociados a sub-centros de diversidad (Fuentes *et al.*, 2012). Pero esta tercera etapa de diversificación de la especie después de su proceso

local de domesticación en los alrededores del lago Titicaca, se paró con la conquista española por diversas razones: una depreciación del producto como “*Comida de indios*”, el rechazo de su uso como bebida para ceremonias culturales (*Mudai*) por la Iglesia católica, y el cambio de los patrones alimentarios a través la escolarización y de las políticas de modernización agrícola para imponer la autoridad de la Corona española (Bazile y Negrete, 2009; Bazile y Thomet, 2013; Thomet y Bazile, 2013). El auge de la quinua de los 90’ corresponde a la cuarta etapa de su dinámica evolutiva con su difusión actual a todo el mundo (Bazile, Fuentes y Mujica, 2013).

### **Importancia de la biodiversidad de la quinua para su difusión mundial.**

El proceso ancestral de domesticación de la quinua se ha desarrollado utilizando la diversidad de los recursos genéticos de la especie. Esta se encuentra estrechamente asociada a distintas zonas geográficas con contextos ecológicos específicos, determinando en su conjunto la capacidad de sobrevivencia de la quinua, y creando a lo largo del tiempo múltiples formas dentro la misma especie. Debido a la existencia de adaptaciones particulares de quinua en diferentes zonas a lo largo de Los Andes, se reconocen cinco ecotipos que corresponden a: quinua de los valles interandinos (Colombia, Ecuador y Perú), quinua del altiplano norte (Perú y Bolivia), quinua de las Yungas (Bolivia), quinua de los salares o altiplano sur (Bolivia, Chile y Argentina) y quinua de la costa o de nivel del mar (Chile centro y sur, al menos hasta la isla de Chiloé) (Fuentes *et al.*, 2012; Risi y Galwey, 1984).

Desde los años 80, la quinua ha experimentado un notable “boom” debido al incremento de la demanda regional e internacional. En los países andinos sigue siendo un alimento básico mientras que en América del Norte y en Europa es cada vez más apreciada por sus cualidades dietéticas, su modo de cultivo ecológico o de comercio justo. Para satisfacer la demanda, la producción aumentó más del doble en Bolivia, principal país productor junto al Perú, mientras que en Chile se impulsaron iniciativas para desarrollar y valorizar este cultivo marginal. Pero también por sus características nutricionales y por su resistencia a factores adversos, la quinua atrajo el interés de



investigadores de Europa y Norteamérica, y hubo varios intentos por introducirla a partir de los años 80' en latitudes altas (Lopez-Garcia, 2007; NRC, 1989). ¿Pero qué se puede cultivar en ambientes templados? Los intentos iniciales condujeron siempre a fracasos de los primeros ensayos con materiales de Perú y Bolivia (latitudes cercanas al Ecuador) que no alcanzaban a madurar en el verano de las altas latitudes. Los requisitos para la agricultura templada están presentes precisamente en las accesiones del ecotipo de quinua del nivel del mar de las zonas sur y centro de Chile.

### Un reconocimiento mundial a partir de 1973.

Los Estados Unidos se habían interesado en el grano de quinua desde 1948 y presentaron por primera vez una experimentación del cultivo a partir de semillas de Chile realizada en el sur de Colorado a principios de los años setenta (Johnson & Croissant, 1985). Si dos países andinos, Bolivia y Perú, concentran hoy

la mayor parte de la producción mundial de quinua, el cultivo realmente comenzó a extenderse por todos los continentes desde los años 80' (Figuras 1 y 2). En ese momento, los Estados Unidos han experimentado por primera vez a escala mayor la quinua en el sur de Colorado antes de que se extienda progresivamente a otros estados (Cranshaw *et al*, 1990; Kephart, Murray & Auld, 1990; Oelke *et al*, 1990; Tobin, 1995). Hoy en día, con Canadá donde la quinua se cultiva en las planicies de Saskatchewan y Ontario (tradicionalmente ocupadas por praderas o zonas productoras de cereales), se estima que ellos dos producen casi el 10% de la quinua global. En Estados Unidos, los ensayos actuales de quinua se desarrollan en la costa Norte-Oeste del Pacífico con material chileno y ofrecen resultados muy prometedores. Aunque las extensiones parecen importantes en superficie, ellas quedan reducidas en comparación al volumen que se vende en Estados Unidos, que es siempre importado de América del Sur.



**Figura 2.** Extensión del cultivo de quinua en 1973

La introducción de quinua a Europa (ver capítulo 6.11) se inició en 1978 también con germoplasma de Chile (Universidad de Concepción en Chile) que fue llevado, seleccionado y probado por Colin Leakey en Cambridge (Inglaterra) y en el valle del Loire (Francia). Este germoplasma chileno más el germoplasma andino colectado en 1982 por Galwey y Risi generó la base del programa de mejoramiento de la Universidad de Cambridge bajo el liderazgo de

Nick Galwey (Flemming y Galwey, 1995; Galwey, 1989, 1993) (figura 3). De Cambridge, la quinua se distribuyó a Dinamarca, Holanda y otros países de Europa (Risi y Galwey, 1991). En Inglaterra, la quinua se utiliza como cultivo de cobertura donde se siembra sola o mezclada con colza. En Dinamarca, la quinua es muy reconocida y usada por personas alérgicas al gluten lo que puede constituir un segmento de mercado específico.

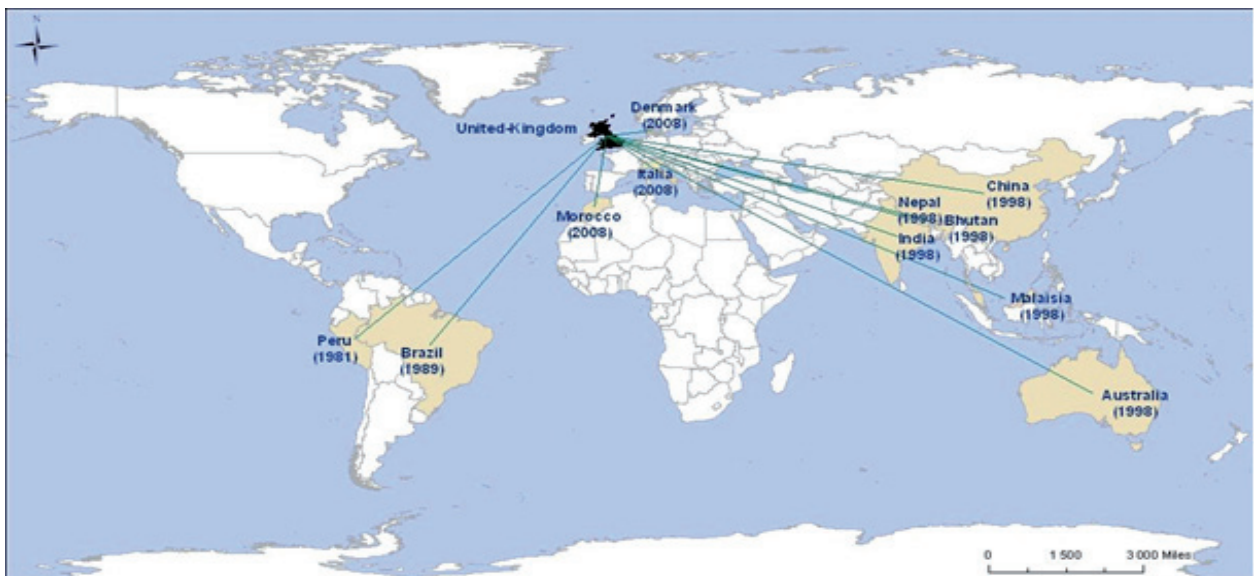


**Figura 3.** Extensión del cultivo de quinua en 1983

#### Las pruebas mundiales en los 90' y 2000'.

Desde un punto de entrada a Europa por Cambridge (RU), la quinua fue distribuida a Dinamarca, Holanda y a muchos otros países (Gesinski, 2008;

Jacobsen, 1997, 2003). Durante estos años, los experimentos también comenzaron a extenderse en Brasil y en Asia (India y China) (Bhargava *et al*, 2006) (figura 4).



**Figura 4.** Colaboración con Cambridge, Inglaterra para iniciar las pruebas de quinua (desde 1981)

En 1993, un proyecto de la Unión Europea se inició con pruebas de campo en Inglaterra, Dinamarca, los Países Bajos e Italia, así como las pruebas de laboratorio en Escocia y Francia (figura 5). Pero seguramente, el proyecto más importante en

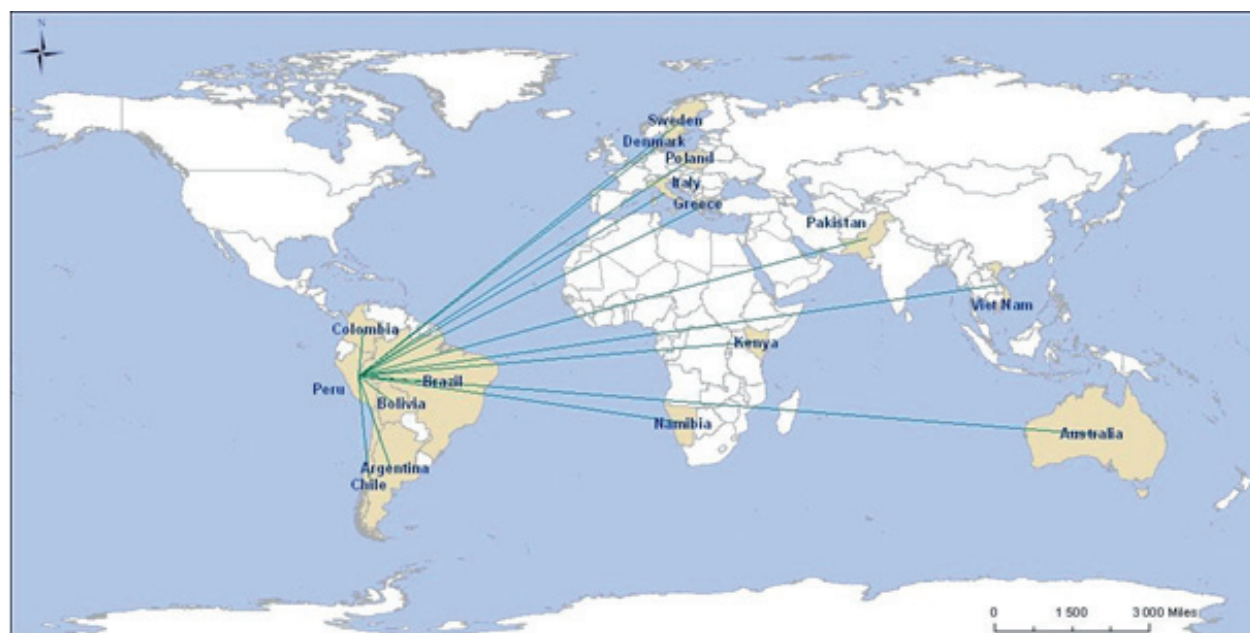
los años 90' y que explica la expansión en todo el mundo de la quinua, es el que comenzó en 1996 con una coordinación compartida entre la Agencia Danesa para el Desarrollo Internacional (DANIDA) y el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú

(Mujica *et al*, 1998, 2001). A través de esta primera red de cooperación internacional alrededor de la quinua hubo ensayos de campo en nuevos países tales como: Suecia, Polonia, República Checa, Austria, Alemania, Italia y Grecia (Iliadis *et al*, 1997). Todos ellos han mostrado interés en la experimentación quinua y la mayoría de ellos estaban involucrados en la prueba americana y europea de la quinua (figura 6) organizada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y coordinado por la Universidad Nacional del Altiplano (Puno,

Perú) y por el proyecto DANIDA-CIP. El objetivo de este proyecto era conocer el *estado del arte* de la quinua y realizar múltiples experimentaciones a nivel internacional. Esta iniciativa aumentó significativamente los vínculos entre investigadores y también el número de centros de investigación implicados en la quinua de los países en desarrollo y desarrollados.



**Figura 5.** Extensión del cultivo de quinua en 1993



**Figura 6.** Colaboración con el CIP-DANIDA (FAO-Univ. Puno): Prueba Americana y Europea de quinua (1996-98)



Desde esta época, Dinamarca asociado a Holanda se interesa en el mejoramiento de la quinua para varios ambientes (Jacobsen *et al.*, 1994). Crearon la primera variedad europea, Carmen, y ahora la investigación está dirigida para reducir el nivel de saponina con el ejemplo de la variedad dulce, Atlas. A partir de esta visibilidad en el mejoramiento de la quinua, la Universidad de Copenhague (DK) sigue desarrollando nuevas pruebas de quinua (figura 7). Otras colaboraciones científicas recientes son

las generadas durante el Proyecto SWUP-MED (2008-2012) para un uso sostenible del agua para asegurar la producción de alimentos en la región mediterránea frente al cambio climático. Este proyecto corresponde al último paso importante de la expansión de la quinua y vincula a numerosos socios de países de la Unión Europea (Italia, Portugal, Reino Unido, Países Bajos y Dinamarca) y de los países mediterráneos (Turquía, Marruecos, Egipto, Siria) (Benhabib, 2006; Pulvento *et al.*, 2012) (figura 8).



**Figura 7.** Extensión del cultivo de quinua en 2003



**Figura 8.** Colaboración con la Universidad de Copenhague (DK) para iniciar las pruebas de quinua asociadas al Proyecto SWUP-MED (UE: 2008-2012)

## Perspectivas a partir del Año Internacional de la quinua AIQ 2013

Las primeras etapas de expansión mostraron el interés de los países importadores y consumidores para adaptar el cultivo de quinua a sus ambientes como fue el caso para Estados Unidos, Canadá, Francia, Reino Unido y Holanda. Otra etapa de la difusión mundial de quinua empezó en los últimos años considerando los cambios climáticos a nivel global y la salinización de las tierras agrícolas. El caso del continente asiático entra en este caso con India (Barghava *et al*, 2006), Pakistán (Munir, 2011) luego China y Australia que siguen en esta misma dinámica, así también como países de los

alrededores del mar mediterráneo y del norte de África.

Ahora, entramos en otra etapa de su expansión porque un cambio fuerte viene del hecho que los nuevos países productores no son los países consumidores y/o importadores tradicionales (figura 9). Así, esta ola de expansión de la quinua se refiere a un conjunto de razones que incluyen la gran adaptabilidad del cultivo a partir de su alta diversidad genética, su resistencia a la sequía o tolerancia a la sal, su alto valor nutricional para la seguridad alimentaria de la población local y la posibilidad de generar nuevos ingresos a los agricultores.



**Figura 9.** Extensión del cultivo de quinua en 2013

Esta dinámica de expansión del cultivo de la quinua aún no ha terminado. Como una prueba de esto más de 20 países están esperando o buscando semillas para experimentar este año.

Considerando las varias etapas de difusión de la quinua a nivel mundial como se describe anteriormente, se generó durante este tiempo una multiplicación de las experimentaciones como también de los centros de investigación involucrados con este cultivo. La cooperación internacional ha iniciado muchos proyectos diferentes y se han desarrollado varias estaciones de investigación en todo el mundo que casi no se

conocen porque han vivido solo durante la duración de los proyectos.

Cinco temas aparecen con los más importantes para los investigadores cuando analizamos las publicaciones científicas de los 30 últimos años (Bazile, 2013a):

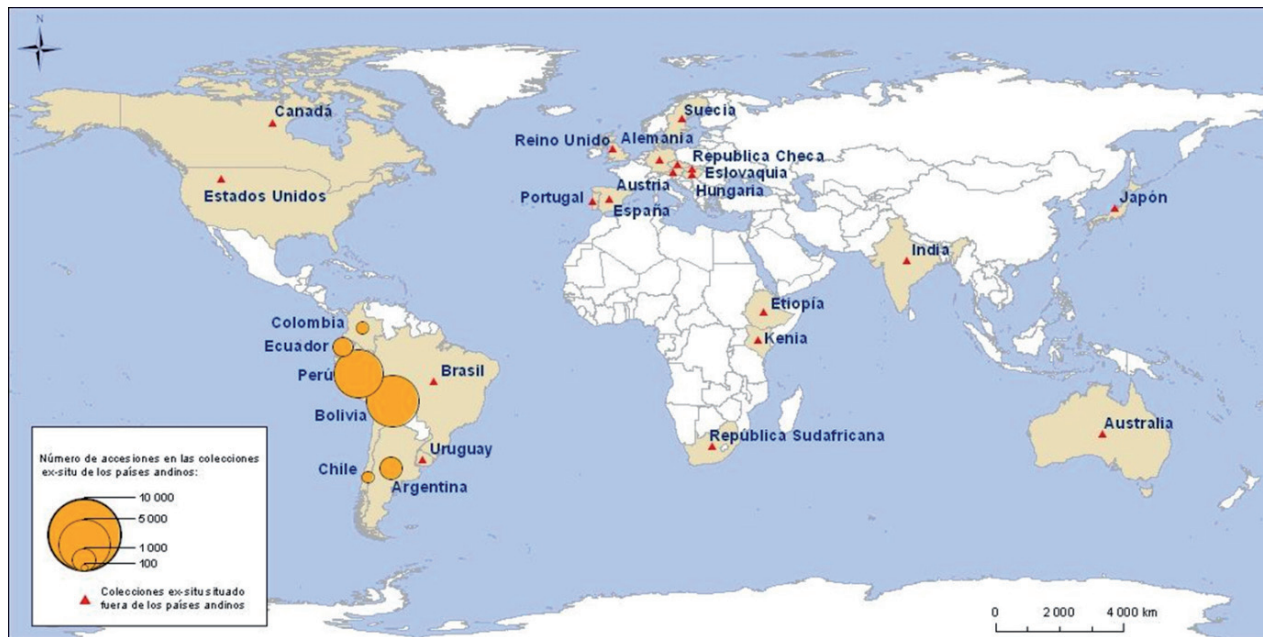
- Nutrición y dietética (gluten o saponinas)
- Agronomía
- Botánico y fisiología vegetal



- Biotecnología alimentaria
- Bioquímica

Sin embargo, se nota un muy pequeño número de publicación que trata de políticas, considerando que los retos para la conservación de la biodiversidad se están confiando cada vez más en las leyes internacionales que regulan el acceso, uso e intercambio de recursos genéticos y/o semillas.

La propagación de la quinua en todo el mundo está hecha de relaciones fuertes entre las instituciones que comparten su material genético de forma formal legal (con Acuerdo de Transferencia de Material, ATM) o de forma informal (compartiendo semillas en las redes de investigación). La colección de quinua más importante se encuentra todavía en manos de los países andinos (ver capítulo 1.5). Sin embargo, muchos países han establecido sus propias colecciones: los triángulos rojos en el mapa de la figura 10 muestran 19 países fuera de los países andinos.



**Figura 10.** Distribución de los Recursos Genéticos (ex situ) de quinua a nivel mundial en 2013

Un número consecuente de los países también ha desarrollado nuevas variedades certificadas y ha establecido un Certificado de Obtención Vegetal en ellas (COV en el sistema UPOV que sea bajo el acto de 1978 o de 1991). La mayoría de las colecciones se constituyeron antes de la firma del Convenio sobre la Diversidad Biológica en Rio de Janeiro (1992); tratado que especifica que los estados son soberanos sobre sus recursos genéticos. Esto ahora

significa que estos países pueden así desarrollar nuevas variedades con este germoplasma sin tener que referirse al país de origen de las accesiones (ver capítulo 1.6). Hay unos países ya considerados como mejoradores de quinua que han pedido COV (Israel, Dinamarca, Reino Unido, Países Bajos, Canadá, Perú y Chile), sino también un nuevo COV está en evaluación con solicitud de Israel (figura 11).



**Figura 11.** Numero de variedades de quinua protegidas por COV según el país del mejorador en 2013

El Protocolo de Nagoya (adoptado en Japón en 2010) es un acuerdo internacional que tiene como objetivo compartir los beneficios y resultados de la utilización de los recursos genéticos a través un modo justo y equitativo, permitiendo contribuir a la conservación de la diversidad biológica y la utilización sostenible de sus componentes. ¿Hay que preguntarse como en el caso de la quinua es relevante para los Países Andinos?

La agricultura siempre se ha basado en el acceso y el intercambio de semillas y nunca en los principios exclusivos observados hoy con la extensión de los derechos de propiedad sobre el mundo respecto a lo vivo. Es imposible clasificar la agrobiodiversidad dentro de una grilla (privado / público / individual / colectiva) por la cantidad de interacciones que existen alrededor de la circulación de las semillas. Así, el mantenimiento de la biodiversidad agrícola requiere una gestión activa y continua donde la conservación *in situ*, en las parcelas de los campesinos, favorece una co-evolución de las variedades campesinas de quinua con los factores de su ambiente, generando una dinámica continua de la biodiversidad de esta especie adaptándola a los cambios que ocurren.

### Conclusión

La amplia diversidad genética de la quinua ha

permitido adaptar su cultivo a distintos tipos de suelos, particularmente suelos salinos y ambientes con condiciones muy variables de humedad, de altitud y de temperatura. Esta rusticidad y adaptabilidad constituye una ventaja mayor en un contexto de cambio climático y de salinización de las tierras agrícolas a nivel mundial (Ruiz *et al*, 2013). La difusión de quinua en el mundo se hace a partir de relaciones fuertes entre instituciones que comparten su material genético. Pero para reconocer el papel que puede desempeñar la biodiversidad de la quinua a esta escala, implica reconocer que está basada en variedades poblacionales o campesinas, mantenidas por prácticas agroecológicas desarrolladas principalmente a través del manejo de una agricultura familiar (Altieri, 1992). La promoción de la quinua a través de variedades mejoradas, estandarizadas para estar en adecuación con las normas de semillas vigentes o para “simplificar” las prácticas agrícolas vinculándose a una agricultura convencional intensificada, no generará la misma resiliencia frente a los cambios globales que tenemos que enfrentar hoy día y que justifican el mantenimiento de una quinua biodiversa, que la agricultura ecológica reconoce y valora (Bazile, 2014). La dinámica de expansión a nivel mundial del cultivo de la quinua puede generar amenazas

para los agricultores si la difusión se genera con una base genética estrecha.

Ahora bien, más allá de las posibilidades que brinda la cadena de la quinua para el desarrollo de territorios en todo el mundo, se abre una interrogante con la ampliación del cultivo fuera de los países andinos que promueve el Año Internacional de la Quinua (Bazile, 2013b). Este cultivo menor puede convertirse en un cultivo ampliamente difundido, pero ¿cómo garantizar una remuneración justa y equitativa, según los términos del Protocolo de Nagoya, para los agricultores de los países andinos por la selección realizada durante generaciones? ¿Y que no influya en una disminución de la agrobiodiversidad de estos nuevos países productores?

Estamos al final del año 2013 (Año Internacional de la Quinua), desde la Cumbre de Río en 1992 varios tratados internacionales se firmaron en la gestión de los recursos fitogenéticos (CDB, Nagoya, UPOV, TIRFAA, CAN, TLC, etc ...). Hay muchas preguntas y también desafíos para el futuro de la quinua que necesitan ser debatidos en profundidad asociando a todos los actores y los países en el debate para que beneficie al cultivo de la quinua y a los agricultores que viven con ella.

### Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento a los proyectos que han permitido financiar las actividades de investigación presentadas: IMAS (ANR07 BDIV 016-01) y IRSES (PIRSES-GA-2008-230862).

### Referencias

Altieri, M.A., (1992). Sustainable agricultural development in Latin America: exploring the possibilities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 39(1-2):1-21.

Bazile D., (2013a). The high genetic diversity of *Chenopodium quinua* Willd and its global expansion. *En*: USDA ; Washington State University. International quinua Research Symposium 2013, Washington, USA, August 12-14, 2013.

Bazile D. (2013b). Développement territorial : le quinua, un catalyseur d'innovations. Montpellier : CIRAD, 4 p. (Perspective : Cirad, 20). [http://www.cirad.fr/content/download/7608/80510/version/2/file/Perspective20\\_Bazile\\_ES.pdf](http://www.cirad.fr/content/download/7608/80510/version/2/file/Perspective20_Bazile_ES.pdf)

Bazile D., (2014). quinua, a model crop to examine the dynamics of biodiversity within agricultural systems. Letter to the editor Contesting Blossoming Treasures of Biodiversity article 42: 'quinua – is the United Nation's featured crop of 2013 bad for biodiversity?' by Small, 2013– *Biodiversity*, Issue 15.1: 3-4, <http://dx.doi.org/10.1080/14888386.2014.884469>

Bazile D., Fuentes F., Mujica A. (2013). Historical perspectives and domestication. *In* : Atul Bhargava, Shilpi Srivastava. quinua: Botany, production and uses. Wallingford : CABI, p.16-35.

Bazile D. (ed.), Negrete Sepulveda J. (ed.). (2009). quinua y biodiversidad: Cuáles son los desafíos regionales?. *Revista geografica de Valparaíso* (42) (spéc.): 1-141.

Bazile D., Thomet M. (2013). The "curadoras" in the conservation of the Mapuche quinua in southern Chile. *In* : A. Christinck, M. Padmanabhan (eds). Cultivate Diversity! A handbook on transdisciplinary approaches to agrobiodiversity research . Germany : Margraf Publishers, p. 104.

Benlhabib O. (2006). Les cultures alternatives : quinua, Amarante et Epeautre. *Bulletin de transfert de technologies en Agriculture*, n°133, Sept. 2006.

Bermejo, J.E.H. and León, J. (1994). Neglected crops-1492 from a different perspective. *FAO Plant Production and Protection Series No. 26*, FAO, Rome, Italy.

Bhargava Atul, Shukla Sudhir & Ohri Deepak (2006). *Chenopodium quinua* -An Indian perspective. *Industrial Crops and Products* 23: 73–87.

Cranshaw W.S., Boris C.K., Tianrong Q., (1990). Insects Associated with quinua, *Chenopodium quinua*, in Colorado. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 63(1): 195-199.

Fleming, J. E., Galwey, N. W. (1995). quinua (*Chenopodium quinua*). *In*: Williams, J. T., ed. Cereals and Pseudocereals. London: Chapman & Hall, pp. 3–83.

Fuentes F., Bazile D., Bhargava A., Martinez E.A. (2012). Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinua, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science*, 150 (6) : 702-716.

- Fuentes, F. F., Maughan, P.J. & Jellen, E. N. (2009a). Diversidad genética y recursos genéticos para el mejoramiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Geográfica de Valparaíso* 42, 20–33.
- Fuentes, F.F., et al., (2009). Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conservation Genetics*, 10(2): p. 369-377.
- Galwey, N.W. (1989). Exploited plants. quinua. *Biologist* 36: 267-274.
- Galwey, N.W. (1993). The potential of quinua as a multi-purpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial crops and products* 1: 101-106.
- Gesinski K., (2008). Evaluation of the development and yielding potential of *Chenopodium quinoa* Willd. under the climatic conditions of Europe. *Acta Agrobotanica* 61 (1) : 185-189.
- Heiser, C.B. and Nelson, D.C., (1974). On the origin of cultivated chenopods (*Chenopodium*). *Genetics*, 78: 503–505.
- Helbaek, H. (1950). Tollundmandens sidste Måltid. *Årbøger for Nordisk Oldkyndighed og Historie*: 311-41.
- Helbaek, H. (1954). Prehistoric food plants and weeds in Denmark. A survey of archaeobotanical research 1923-1954. *Danmarks Geologisk Undersøgelse* 2, 80, 250-261
- Helbaek, H. (1958). Grauballemandens sidste maaltid (The last meal of Grauballe Man). *Kuml* 83-116.
- Helbaek, H., (1960). Comment on *Chenopodium album* as a food plant in prehistory. *Ber. Geobot. Inst. Eidg. Tech. Hochsch. Stift. Ruebel Zuerich*, 31: 16--19.
- Hooker J.D., (1885). The Flora of British India. Vol. V. Reeve Kent Publisher, UK.
- Hooker J.D., (1952). Chenopods. *Himalayan Journal* 1: 386.
- Iliadis, C., Karyotis, T., Mitsibonas, T. (1997). Research on quinua (*Chenopodium quinoa*) and amaranth (*Amaranthus caudatus*) in Greece. Proceedings of COST-Workshop., 24–25/10 1997 Wageningen, The Netherlands: CPRO-DLO, pp. 85–91.
- Jacobsen, S.-E., (1997). Adaptation of quinua (*Chenopodium quinoa*) to Northern European agriculture: studies on developmental pattern. *Euphytica* 96:41–48.
- Jacobsen Sven-Erik, (2003). The Worldwide Potential for quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), *Food Reviews International*, 19 (1-2): 167-177.
- Jacobsen SE, (2011). The situation for quinua and its production in southern Bolivia: from economic success to environmental disaster. *J Agro Crop Sci* 197:390–399.
- Jacobsen SE, (2012). What is wrong with the sustainability of quinua production in southern Bolivia—a reply to Winkel et al. (2012). *J Agron Crop Sci* 198:320–323.
- Jacobsen, S.-E., I. Jørgensen & O, Stølen. (1994). Cultivation of quinua (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. *J. Agric. Sci* 122, 47-52.
- Jellen, E.N., et al., (2013). Prospects for quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Improvement Through Biotechnology, In *Biotechnology of Neglected and Underutilized Crops*, Shri Mohan Jain and S. Dutta Gupta, Editors. Springer. p. 173-201.
- Jellen R. and Maughan J., (2013). quinua phylogenetic insights based on nuclear and Chloroplast DNA sequences. Pullman, Washington, USA, 12-14 August, 2013, International quinua Research Symposium.
- Johnson DL & RL Croissant, (1985). quinua Production in Colorado. Service-In-Action No. 112. Fort Collins, Colorado: Colorado State University Cooperative Extension.
- Kephart KD, GA Murray & DL Auld, (1990). Alternate Crops for Dryland Production Systems in Northern Idaho. In Janick J & JE Simon (eds). *Advances in new crops*, 62-67. Timber Press, Portland, Oregon.
- Lopez-Garcia R. (2007). quinua: A traditional Andean crop with new horizons. *Cereal Foods World*, 52, 88-90.
- Mujica, A., Jacobsen S.-E., Izquierdo J. & J. Marathe. (1998). Libro de Campo de la Prueba Americana y Europea de quinua. FAO, UNA-Puno. Editor CIP, Lima, Peru, 41 pp.
- Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J. & Marathe,



- J.P. (2001). Resultados de la Prueba Americana y Europea de la quinua. Puno, Perú: FAO, UNA, CIP.
- Munir H. (2011). Introduction and assessment of quinua (*Chenopodium quinua* Willd.) as a potential climate proof grain crop. Ph.D Thesis. University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.
- National Academy of Sciences, (1975). Underexploited tropical plants with promising economic value. National Academy of Sciences, Washington, D.C., U.S.A., 189 pp.
- National Research Council (NRC), (1989). Lost Crops of the Incas: Little Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation. *Natl. Acad. Press, Washington D.C., USA.* pp 148-161.
- Nelson DC, (1968). Taxonomy and origins of *Chenopodium quinua* and *Chenopodium nuttalliae*. Ph.D. Dissertation. Indiana University.
- Oelke A, DH Putnam, TM Teynor & ES Oplinger, (1990). quinua. In: Alternative field crops manual. University of Wisconsin University of Minnesota - Cooperative Extension
- Partap, T., (1982). Cultivated grain chenopods of Himachal Pradesh: Distribution, variations and ethnobotany. Ph.D. Thesis, Department of Biosciences, Himachal Pradesh University, Simla, India, 243 pp.
- Partap, T. y P. Kapoor, (1985a). The Himalayan grain chenopods. I. Distribution and Ethobotany. *Agric. Ecosyst. Environ.* 14: 185-199.
- Partap, T. y P. Kapoor, (1985b). The Himalayan grain chenopods. II. Comparative morphology. *Agric. Ecosyst. Environ.* 14: 185-199.
- Partap T. and P. Kapoor, (1987b). The Himalayan grain chenopods. III. An under-exploited food plant with promising potential. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 19(1):71-79.
- Partap T. y M.D. Upadhyay, (1987b). The Himalayan grain chenopods: Floral variations and their role in seed formation *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 18(3): 205-210.
- Pearsall, D.M. (1992). The origins of plant cultivation in South America. In: Cowan CW, Watson PJ (eds) The origins of agriculture. Smithsonian Institution Press, Washington, USA, pp 173-205.
- Pulvento, C., M. Riccardi, A. Lavini, G. Iafelice, E. Marconi, & R. d'Andria, (2012). Yield and quality characteristics of *Chenopodium quinua* Willd. grown in open field under different saline and not saline irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*.198 (4): 254-263.
- Risi, J., Galwey, N. W., (1984). The Chenopodium grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Adv. Appl. Biol.* 10:145-216.
- Risi, J., Galwey, N. W. (1989). The pattern of genetic diversity in the Andean grain crop quinua (*Chenopodium quinua* Willd.). I. Associations between characteristics. *Euphytica* 41:147-162.
- Risi J. & Galway N. W. (1991). Genotype X Environment Interaction in the Andean grain crop quinua (*C. quinua*) in temperate environments. *Plant Breeding*, 107: 141-147.
- Rowley-Conwy. P. (1982). Bronzealder kom fra Voldtofte (Bronze Age cereals from Voldtofte). *Kuml* 1 139-152.
- Rowley-Conwy, P. (2000). Through a taphonomic glass, darkly: the importance of cereal cultivation in prehistoric Britain, pp. 43-53 in Stallibrass, S. and Huntley, J.P. (eds.), *Taphonomy and Interpretation*. Oxford: Oxford Books.
- Ruiz K.B. et al, (2013) (*on line-first*). quinua biodiversity and sustainability for food security under climate change: A review. *Agron. Sustain. Dev.* DOI 10.1007/s13593-013-0195-0
- Schlick. G., and D. L. Bubenheim. (1996). quinua: Candidate crop for NASA's Controlled Ecological Life Support Systems. *En: Janick, J., Eds. Progress in New Crops*, ASHS Press: Arlington, USA, pp. 632-640.
- Simmonds, N.W. (1965). The grain chenopods of the tropical American highlands. *Economic Botany* 19, 223-235
- Singh, H. y T.A. Thomas, (1978). Grain amaranth, buckwheat and chenopods. ICAR Series, New Dehli, India.
- Small, E. (2013). quinua – is the United Nations' featured crop of 2013 bad for biodiversity? *Biodiversity* 14: 169-179.
- Stokes P, and Rowley-Conwy P. (2002). Iron Age Cultigen? Experimental Return Rates for Fat Hen (*Chenopodium album* L.) *Environmental Archaeology* 7(95-99).



Stewart, J.L., (1869). Punjab Plants, comprising Botanical and Vernacular names, and Uses of most of the Trees, Shrubs, and Herbs of economical value, growing within the province intended as a Hand-Book for officers and residents in the Punjab. Lahore: printed at the Government Press, Public Works Department, 404 p.

Thomet M., Bazile D. (2013). The role of “curadoras” in the conservation of quinoa varieties in the Mapuche communities in southern Chile. In : Coudel Emilie (ed.), Devautour Hubert (ed.), Soulard Christophe (ed.), Faure Guy (ed.), Hubert Bernard (ed.). Renewing innovation systems in agriculture and food : How to go towards more sustainability?. Wageningen : Wageningen Academic Publishers, p. 174-175.

Tobin DP, (1995). An historical geography of quinoa cultivation in the San Luis Valley: 1982-1992. Thesis. California, Pennsylvania: California University of Pennsylvania.

Uotila, P., (1978). Variations, distribution and taxonomy of *Chenopodium sueticum* and *C. album* in north Europe. Acta Bot. Fenn. n°108; Helsinki, Finland.

Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90: 2541–2547.

Wilson, H. D. (1990). quinoa and relatives (*Chenopodium* sect. *Chenopodium* subsect. *Cellulata*). *Economic Botany* 44, 92–110.

Wilson, H.D. and Heiser, C.B., Jr., (1979). The origin and evolutionary relationship of huauzontle (*Chenopodium nuttalliae*) domesticated chenopod of Mexico. *Am. J. Bot.*, 66: 198–206.

Wilson, H. and J. Manhart, (1993). Crop weed gene-flow – *Chenopodium quinoa* Willd. and *C. berlandieri* Moq. *Theoretical and Applied Genetics*, 1993. 86(5): p. 642-648.

Winkel T. et al., (2012). The sustainability of quinoa production in Southern Bolivia: from misrepresentations to questionable solutions. Comments on Jacobsen (2011, *J. Agron.Crop.Sci.* 197:390-399). *J. Agron.Crop.Sci.* 198(4): 314-319.

## CAPÍTULO: 1.5

# TÍTULO: ESTADO DE LA CONSERVACIÓN EX SITU DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE QUINUA

\*Autor para correspondencia: Wilfredo ROJAS <w.rojas@proinpa.org>

## Autores:

WILFREDO ROJAS<sup>\*a</sup>, MILTON PINTO <sup>a</sup>, CAROLINA ALANOCA<sup>b</sup>, LUZ GÓMEZ PANDO<sup>c</sup> PEDRO LEÓN-LOBOS<sup>d</sup>, ADRIANA ALERCIA<sup>e</sup>, STEFANO DIULGHEROFF<sup>f</sup>, STEFANO PADULOSI<sup>e</sup>, DIDIER BAZILE<sup>g</sup>

<sup>a</sup> Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos - PROINPA; Américo Vespucio 538, Piso 3, La Paz, Bolivia.

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - INIAF; Batallón Colorados 24, Edif. El Cóndor Piso 12, La Paz, Bolivia.

<sup>c</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina – UNALM; Av. La Molina S/N, La Molina, Lima, Perú.

<sup>d</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIA; Banco Base de Semillas, Estación Experimental Vicuña, Camino Peralillo s/n Vicuña. Chile.

<sup>e</sup> Bioversity International; Sede Central, Via dei Tre Denari 472/ a 00057 Maccarese (Fiumicino), Roma, Italia.

<sup>f</sup> FAO, Roma, Italia.

<sup>g</sup> UPR GREEN, CIRAD-ES; TA C-47/F, Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5 – Francia.

## Resumen

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo potencialmente estratégico que desempeña un rol esencial en la seguridad y soberanía alimentaria, contribuye de forma significativa a las necesidades básicas de la población y es parte del patrimonio ancestral y cultural de los países andinos. Su amplia diversidad conforma un acervo genético extraordinariamente valioso y que se expresa en la variabilidad de colores de la planta, inflorescencia y semilla, duración del ciclo de cultivo, valor nutritivo y agroindustrial, así como en el contenido de saponina del grano. Esta diversidad, confiere al cultivo una amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas (suelos, precipitación, temperatura, altitud, tolerancia a heladas, sequía, salinidad). A nivel mundial son 16422 las accesiones de quinua

y sus parientes silvestres que se conservan en 59 bancos de semillas de 30 países (*Chenopodium quinoa*, *C. album*, *C. berlandieri*, *C. hircinum*, *C. petiolare*, *C. murale* y *Chenopodium* sp.). Los bancos de semilla de la región Andina conservan más del 88% de la variabilidad genética del cultivo. A pesar de disponer esta amplia diversidad, en la actualidad no se utiliza adecuadamente. El grano perlado y los productos procesados en los mercados derivan de un conjunto reducido de variedades cultivadas, lo que evidencia una subutilización del potencial genético. En general, los países no poseen políticas claras en materia de conservación *ex situ* de las colecciones de germoplasma de quinua. Los bancos de germoplasma de los países con mayor diversidad están escasamente vinculados entre sí en el mismo país y menos entre diferentes países.

Cada banco de semillas desarrolla sus actividades según los objetivos de la institución y muchas veces según intereses individuales de los investigadores, en vez de que sea sobre la base de una estrategia planificada a beneficio del programa nacional. En este capítulo se hace una revisión de las colecciones de germoplasma de quinua de los diferentes países, particularmente de la región Andina, la distribución de su variabilidad genética y una descripción de la infraestructura e instalaciones utilizadas para su conservación. Se incluye también información relativa a la caracterización y evaluación, los procedimientos para la regeneración y multiplicación y los sistemas de documentación que se utilizan. Finalmente se describen los vínculos entre la conservación *in situ* y *ex situ*.

### Introducción

Durante los últimos cuatro decenios, las colecciones de germoplasma mantenidas *ex situ* han experimentado un significativo aumento en cantidad, como resultado del intenso trabajo hecho en todo el mundo para conservar los recursos RFGAA<sup>1</sup>. Estas colecciones se mantienen en condiciones muy diversas, dependiendo de políticas de orden nacional o internacional, del entorno institucional, de la pericia disponible, de las instalaciones y los presupuestos, y del grado de colaboración nacional e internacional (Engels y Visser 2003). Según el segundo informe sobre el estado del arte de los RFGAA<sup>1</sup> (FAO, 2010), la cantidad total de muestras conservadas *ex situ* en todo el mundo ha aumentado desde 1996, aproximadamente un 20% (1,4 millones), alcanzando 7,4 millones de accesiones que se conservan en 1750 bancos. Este incremento en cantidad de accesiones y diversidad de tipos de germoplasma, requieren que las colecciones se manejen con los más altos estándares de conservación.

La sola creación de un banco de germoplasma no garantiza la conservación de los recursos fitogenéticos importantes para un país, ni que las colecciones se manejen con los estándares de conservación adecuados, aspectos que han sido evidenciados con el primer y segundo informe sobre el estado del arte de los RFGAA en el mundo (FAO 1996; FAO 2010). Los bancos de germoplasma son esenciales para la seguridad y soberanía

alimentaria de cada pueblo, son parte de su patrimonio ancestral y cultural, y como tales son una responsabilidad que debe asumir el gobierno de cada país y la sociedad en su conjunto. Para ello la conservación requiere apoyo institucional, es decir, proveer de manera sostenida recursos económicos, contar con personal especializado y con el equipamiento necesario para mantener las colecciones de germoplasma y realizar las actividades de conservación.

Según Engels y Visser (2003) cada vez se presta más atención a la regeneración del germoplasma de una colección, inquietud que obedece a los costos siempre crecientes del mantenimiento y la regeneración de las colecciones y a la posibilidad de que, con el tiempo, se detecte erosión genética en un banco que no haya aplicado un manejo adecuado. El aspecto económico de un banco de germoplasma no sólo representa un factor externo que consiste en asignar presupuestos a operaciones específicas del banco, sino que se relaciona con el proceso interno de toma de decisiones sobre los gastos que implican, que es un asunto mucho más importante.

El manejo de los bancos de germoplasma ha evolucionado muchas veces sin una buena planificación. Adicionalmente, las condiciones locales de manejo del germoplasma varían enormemente, haciendo surgir muchos enfoques diferentes de manejo y una diversidad de experiencias. Esto ha ocurrido a pesar de que se han hecho diversos esfuerzos internacionales para tratar de estandarizar el manejo de los bancos de germoplasma, en particular, de los bancos de semilla (FAO/IPGRI 1994; Engel y Visser 2003; Rao et al. 2007; FAO 2013).

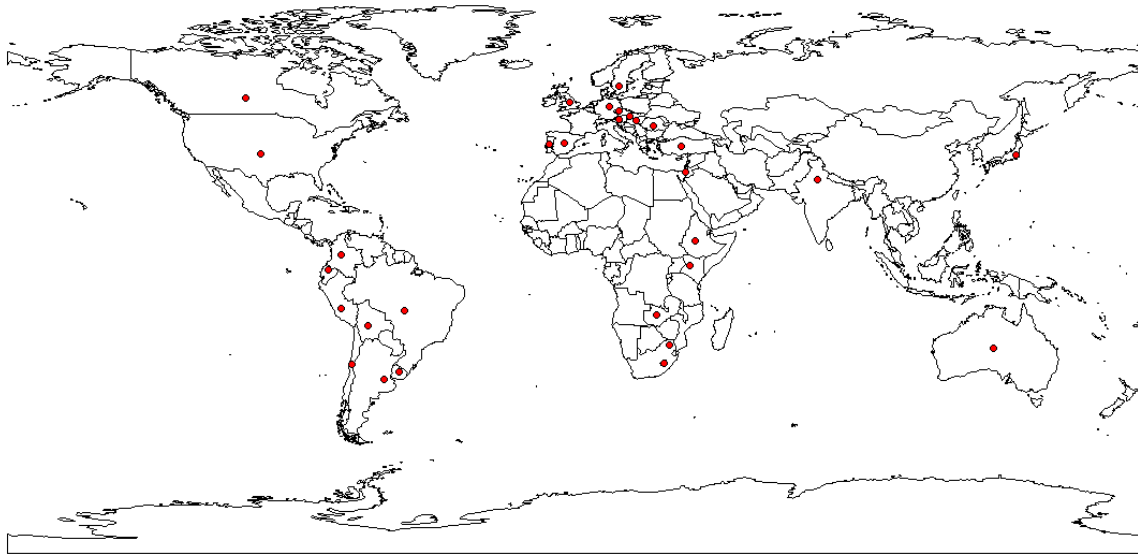
### Bancos y colecciones de germoplasma de quinua en el mundo

La semilla de quinua se ha clasificado como semilla de comportamiento del tipo 'ortodoxo' (Ellis et al. 1988), es decir que su viabilidad se puede mantener de una manera previsible en una gama de condiciones ambientales controladas, a través de la reducción de la temperatura y humedad de las semillas (Ellis y Roberts 1980). La conservación *ex situ* de quinua se lleva a cabo en bancos de germoplasma que utilizan dichas propiedades de las semillas para lograr el máximo tiempo de almacenamiento con el

<sup>1</sup> RFGAA – Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación

mínimo de actividad fisiológica y la mínima pérdida de viabilidad. Los bancos de semillas representan además una solución eficiente y de baja relación costo – beneficio, en un espacio relativamente reducido se puede almacenar una gran cantidad

de muestras (Leon-Lobos et al. 2010). El manejo de los bancos de semillas comprende una serie de etapas y procedimientos que requieren personal capacitado para el procesamiento de la semilla y el control periódico de su viabilidad (FAO, 2013).



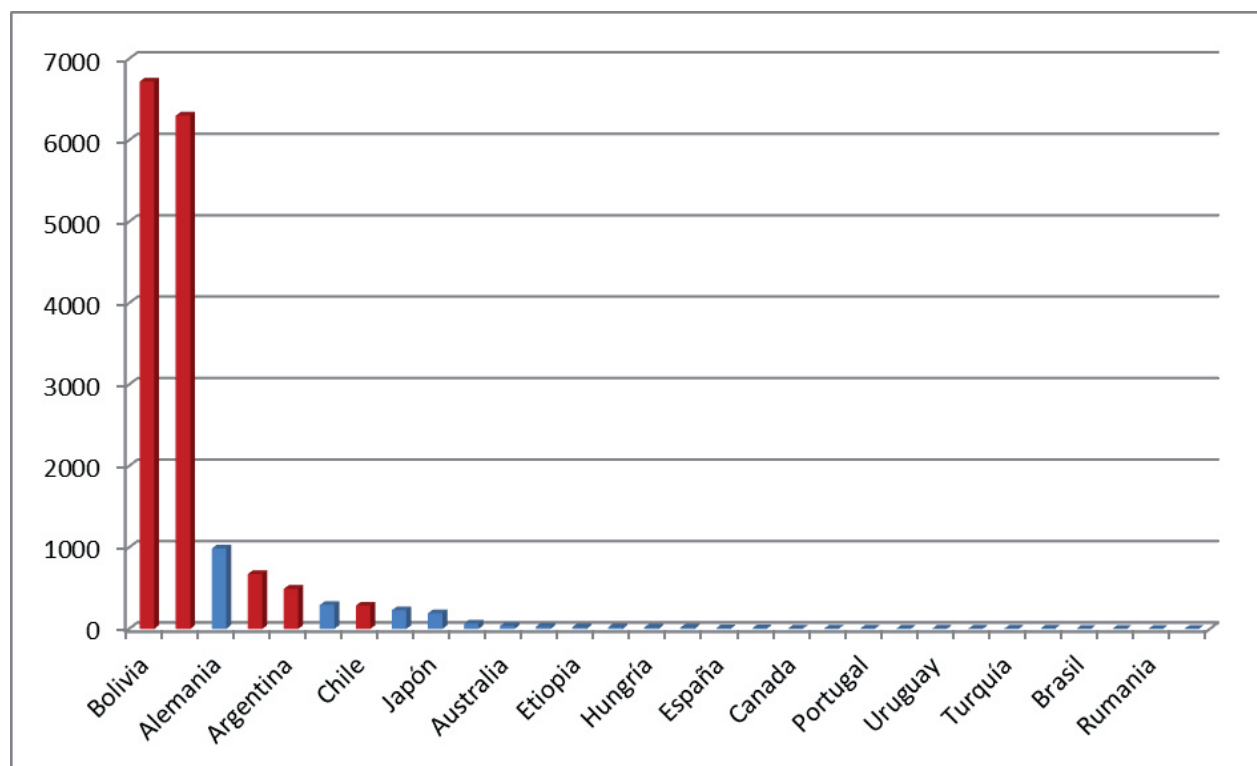
**Figura 1.** Países que conservan colecciones de germoplasma de quinua

En el Segundo Informe de la FAO sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación en el mundo, se indica que a nivel mundial existen 16263 accesiones del género *Chenopodium* (FAO 2010), que incluye además de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), la cañahua o cañihua (*C. pallidicaule* Aellen), el paico o epazote (*C. ambrosoides* L.) y otras especies. Con base en una reciente actualización de la información sobre colecciones *ex situ* de quinua y sus parientes silvestres, realizada con el apoyo de la FAO, Bioversity International y expertos que trabajan con colecciones de quinua, se estima en 16422 el número de accesiones conservadas a nivel mundial de *Chenopodium*<sup>2</sup> *quinoa*, *C. album*, *C. berlandieri*, *C. hircinum*, *C. petiolare*, *C. murale* y *Chenopodium* sp. (Anexo 1).

Son 30 los países en el mundo que conservan quinua y sus parientes silvestres en 59 bancos de germoplasma de semillas (Figura 1). Estos son: 10 países en América (Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Colombia, Chile, Ecuador, Estados Unidos, Perú y Uruguay), 11 en Europa (Alemania, Austria, Eslovaquia, España, Hungría, República Checa, Portugal, Reino Unido, Suecia, Turquía y Rumania), 5 en África (Etiopía, Kenia, Lesoto, Zambia y Sud África), 3 en Asia (India, Japón y Jordania) y Australia (Anexo 1).

Entre los países de la región Andina, Bolivia y Perú son los que conservan la mayor diversidad, luego están Ecuador, Argentina y Chile. De los restantes 25 países del mundo, se destacan Alemania con 987 accesiones, India con 294, EEUU con 229 y Japón con 191 accesiones de quinua y sus parientes silvestres (Figura 2 y Anexo 1).

<sup>2</sup> *Chenopodium*: Ver capítulo 1.1 Botánica, filogenia y evolución (respecto a su nueva clasificación del género para considerar a los parientes silvestres de la quinua)



**Figura 2.** Número de accesiones de quinua que se conservan en el mundo

En la región Andina, desde mediados del siglo XX se han implementado bancos de germoplasma, cuyos encargados del manejo y conservación son instituciones relacionadas con el sector agrícola y universidades como es el caso de Argentina, Bolivia, Colombia, Chile, Ecuador y Perú. De las 16422 accesiones conservadas a nivel mundial, 14502 (88%) se conservan en bancos de germoplasma de la región Andina.

En **Bolivia** son seis los bancos de semilla en los que se conservan 6721 accesiones de quinua (Figura 3 y Anexo 1). Estos están ubicados en el Centro Toralapa del INIAF<sup>3</sup>, en la Estación Experimental Choquenaira de la UMSA<sup>4</sup>, en el Centro de Investigación en Biotecnología y Recursos Fitogenéticos de la UTO<sup>5</sup>, en la Unidad Académica Tiahuanacu de la UCB<sup>6</sup>, en el Centro Experimental Kallutaca de la UPEA<sup>7</sup>, y en el Centro de Investigación y Promoción Comunal – CIPROCOM. El germoplasma de quinua con el mayor número de accesiones es el que maneja el

INIAF con 3.178 accesiones, es conocido como la colección nacional de germoplasma de quinua, le siguen las colecciones de la UTO y la UMSA con 1.780 y 1.370 accesiones, respectivamente (FAO WIEWS 2013).

<sup>3</sup> INIAF - Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal

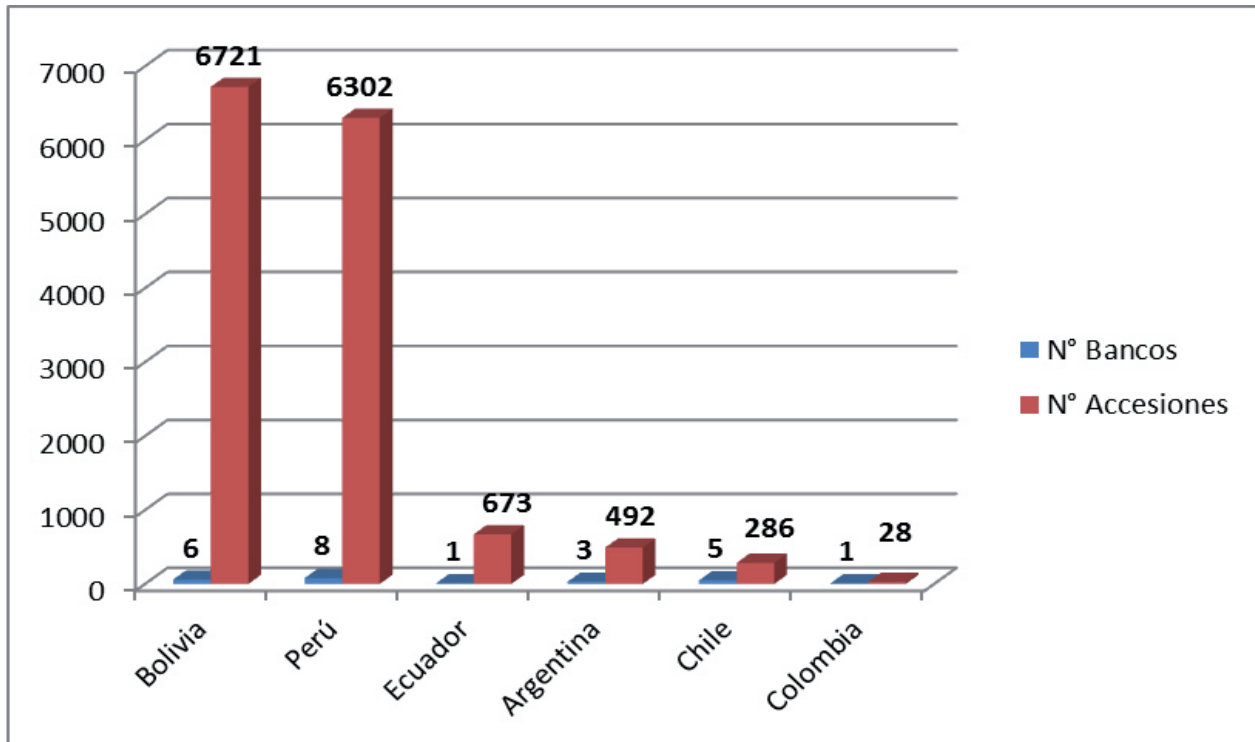
<sup>4</sup> UMSA – Universidad Mayor de San Andrés

<sup>5</sup> UTO – Universidad Técnica de Oruro

<sup>6</sup> UCB – Universidad Católica Boliviana

<sup>7</sup> UPEA – Universidad Pública de El Alto





**Figura 3.** Número de accesiones y bancos de semilla que conservan germoplasma de quinua en los países de la región Andina

En **Perú**, son ocho los bancos de germoplasma donde se conservan 6302 accesiones de quinua (Anexo 1). Los bancos se encuentran en las Estaciones Experimentales del INIA<sup>8</sup>, en Illpa (Puno), Andenes (Cusco), Canaán (Ayacucho), Santa Ana (Huancayo) y Baños del Inca (Cajamarca), y en la Universidad Agraria La Molina de Lima, la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Mujica 1992; Bonifacio et al. 2004; Bravo y Catacora 2010; Gómez y Eguiluz 2011). Las colecciones con el mayor número de accesiones son de la Universidad Nacional Agraria La Molina, la Universidad Nacional del Altiplano y el INIA Puno con 2089, 1910 y 1029 accesiones, respectivamente (FAO WIEWS 2013).

En **Argentina**, la red nacional de conservación de bancos de semilla cuenta con un total de 492 accesiones de quinua (Anexo 1) conservadas en el Banco Base del INTA<sup>9</sup> y en parte duplicadas en el Banco Activo de Germoplasma del Noroeste Argentino y el Banco de Germoplasma de la Consulta (Argentina MNII<sup>10</sup> 2013; FAO WIEWS 2013). Dicha

colección es el resultado de esfuerzos realizados conjuntamente por la Facultad de Agronomía de la UBA<sup>11</sup> y el INTA.

En **Ecuador**, son 673 accesiones de quinua conservadas por el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología en la Estación Experimental de Santa Catalina del INIAP<sup>12</sup> (Ecuador MNII 2013; FAO WIEWS 2013; Peralta 2006). En **Colombia** el banco de germoplasma de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria en Tibaitatá conserva 28 accesiones (FAO WIEWS 2013)

<sup>8</sup> INIA – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Perú

<sup>9</sup> INTA - Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria, Argentina

<sup>10</sup> MNII – Mecanismo Nacional de Intercambio de Información

<sup>11</sup> UBA – Universidad de Buenos Aires, Argentina

<sup>12</sup> INIAP - Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador



**Figura 4.** Bancos de semilla en Sur América que conservan germoplasma de quinua

Por su parte en **Chile** se conservan 286 accesiones (Anexo 1), de las cuales 203 accesiones están conservadas en el Banco Base de Semilla del Centro Experimental Vicuña – INIA<sup>13</sup>, y las demás en el banco de semillas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UACH<sup>14</sup>, en el Banco Activo de Semillas del Centro Regional de Investigación Carillanca – INIA, en la Universidad Arturo Prat (UNAP) y en el Banco de Semillas Baer (Barriga et al. 1994; Salazar et al. 2006; Madrid et al. 2011; Chile MNII 2013; FAO WIEWS 2013).

En la Figura 4 se indica la localización geográfica de los 26 bancos de semilla de América del Sur que conservan quinua, de los cuales 24 bancos pertenecen a países de la región Andina

#### **Distribución del origen geográfico de las colecciones de quinua conservadas *ex situ*.**

<sup>13</sup> INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile

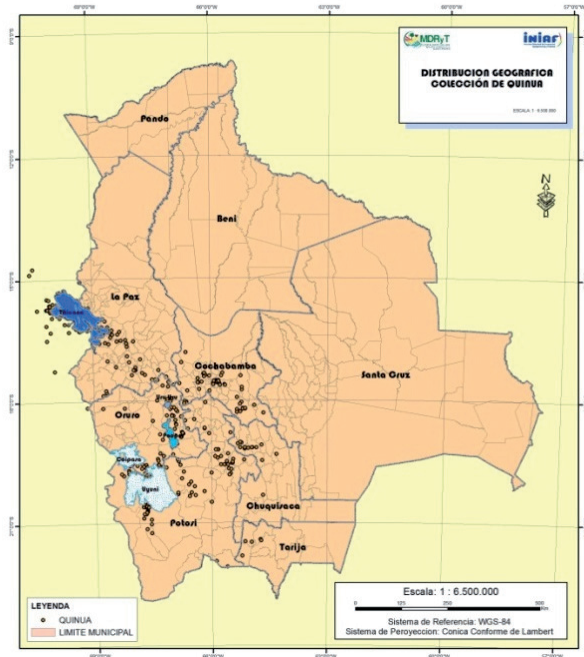
<sup>14</sup> UACH – Universidad Austral de Chile, Chile

Es esencial contar con la debida información sobre la distribución de la quinua, ya que es considerada un recurso potencial y de primera necesidad para la seguridad alimentaria de los pueblos y a nivel mundial. Si se analiza la información (disponible) de pasaporte que tienen los bancos, es posible en cierta forma, hacer una representación de la distribución del cultivo, para ver cuáles son áreas de influencia que tiene cada uno y dónde se requiere actuar con mayor profundidad.

Según estudios realizados con la colección nacional de **Bolivia** (Rojas 2002; Rojas et al. 2010), el origen geográfico de la colección se distribuye desde los 15°42' (provincia Omasuyo, Departamento de La Paz) hasta los 21°57'S (provincia M. Omiste, Departamento de Potosí), y desde los 64°19' (provincia Tomina, Departamento de Chuquisaca) hasta los 69° 09' W (provincia Manco Kapac, Departamento de La Paz) y su distribución altitudinal varía desde los 2400 hasta los 4200 m.s.n.m. (Figura 5).

Se puede observar en la Figura 3 que un mayor número de accesiones procede de la región del altiplano, principalmente en áreas aledañas a la carretera que se extiende desde el Lago Titicaca, La Paz, Oruro, Challapata y Uyuni, en el caso del altiplano sur también por las zonas de Salinas de Garci Mendoza, Daniel Campos y los Lipez. Por su parte, en la región de los valles interandinos se advierte mayor concentración de accesiones de Cochabamba, Chuquisaca y Potosí, respecto a Tarija.

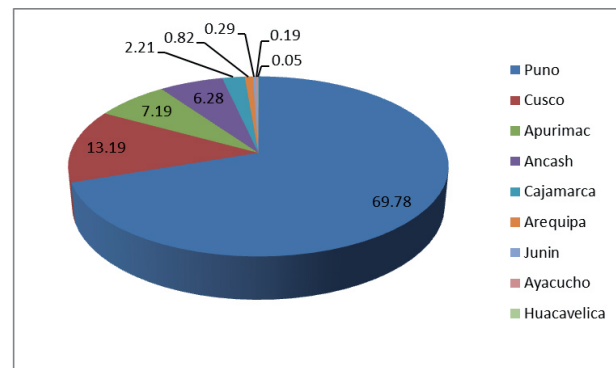
La colección nacional de quinua en Bolivia alberga un gran número de accesiones, actualmente se conservan 3178 accesiones entre cultivadas y silvestres que fueron colectadas entre los años 1965 al 2008 en comunidades del altiplano y los valles interandinos del país en los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca y Tarija. Asimismo, se cuenta con germoplasma proveniente de Perú, Ecuador, Colombia, Argentina, Chile, México, EEUU, Dinamarca, Holanda e Inglaterra (Rojas et al. 2010a; Rojas et al. 2009).



**Figura 5.** Distribución del germoplasma de quinua que se conserva en el INIAF de Bolivia

En el **Perú**, considerando las accesiones de quinua que se almacenan en las colecciones de semilla de la Universidad Nacional Agraria La Molina y la Universidad Nacional del Altiplano, la distribución se concentra principalmente en los valles interandinos y la sierra. En el caso de los valles interandinos se han colectado accesiones de quinua entre los 2200 a 3500 msnm, principalmente en los departamentos de Cajamarca, Ancash, Junín, Ayacucho, Huancavelica, Arequipa, Apurímac y Cusco. En el caso de la sierra, las accesiones provienen de altitudes entre los 3600 a 4050 msnm, de los departamentos de Huancavelica, Arequipa, Apurímac, Cusco y Puno.

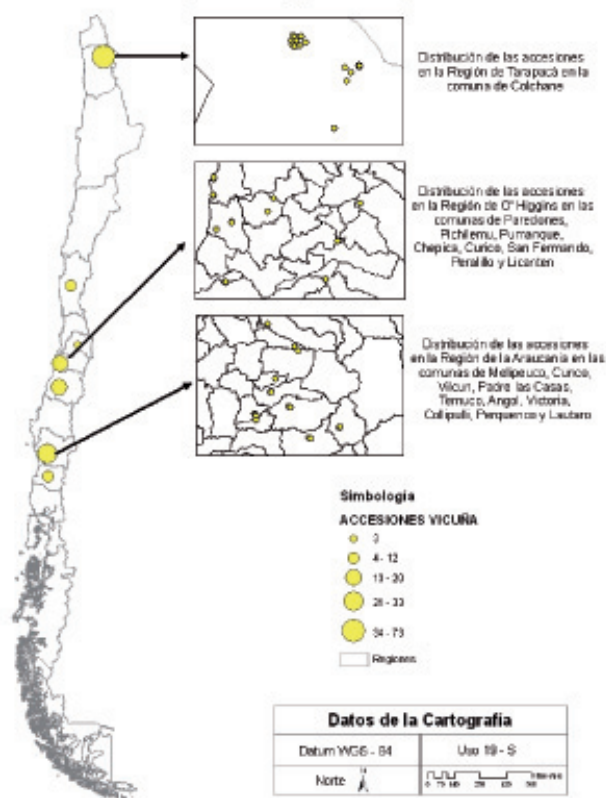
En el caso de la colección de quinua de la UNALM, de las 2089 accesiones que se conservan, el 69.78% proceden del departamento de Puno, el 13.19% del departamento de Cusco, el 7.19% del departamento de Apurímac y el 6.28% del departamento de Ancash. Los cuatro departamentos contribuyen con más del 96% del número de accesiones que se conserva en la Universidad (Figura 6).



**Figura 6.** Distribución por Departamentos del germoplasma de quinua que se conserva en la Universidad Nacional Agraria La Molina del Perú

En **Chile**, las accesiones de quinua que conserva el banco base del CRI Intihuasi del INIA provienen principalmente de tres zonas del país (Figura 7). En la zona norte, en la Región de Tarapacá en la comuna de Colchane y en la Región de Coquimbo, en las provincias de Elqui y Limarí. En la zona centro, en la Región Metropolitana, la costa de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. En la zona sur, en la Región de la Araucanía y la Región de los Lagos (Madrid, 2011).

### Distribución de las accesiones del Banco Base Intihuasi del INIA, en las regiones del país.



**Figura 7.** Distribución de las accesiones de quinua conservadas en el Banco Base de Semillas, Intihuasi del INIA, Chile (según Madrid, 2011)

#### Características de la infraestructura e instalaciones donde se manejan y conservan colecciones de germoplasma.

Las características de la infraestructura y en particular de la sala de almacenamiento y equipos son fundamentales para evitar el deterioro acelerado de la viabilidad y el porcentaje de germinación de las semillas de quinua. A continuación se describe la ubicación y las características de los ambientes donde se almacenan accesiones en Bolivia, Perú y Chile.

En **Bolivia** la colección nacional se conserva en el Banco de Germoplasma de Granos Andinos, ubicado en la Estación Experimental de Toralapa del INIAF (17°31'S, 65°41'W; 3430 msnm), a 73 km de la ciudad de Cochabamba, sobre la carretera antigua a Santa Cruz.

Este banco de germoplasma cuenta con una

sala de almacenamiento, un laboratorio y la sala de acondicionamiento de muestras. La sala de almacenamiento mide 72 m<sup>2</sup>, sus paredes son de ladrillo y no tiene ventanas, están revestidas internamente con plastoformo (poliestireno expandido) y el piso es de cerámica. La temperatura promedio dentro de la sala de almacenamiento es de 15°C y una humedad de 40%, se cuenta con la ayuda de un equipo deshumidificador que extrae la humedad de la sala.

La sala de acondicionamiento tiene una superficie de 20 m<sup>2</sup>, es el espacio donde se prepara las semillas para el análisis de laboratorio y se controla su tamaño. El laboratorio tiene una superficie de 16 m<sup>2</sup>, es el espacio donde se llevan a cabo los análisis de la calidad biológica de las semillas (germinación, estado fitosanitario, contenido de humedad, etc.), antes de que la accesión pase al almacenamiento.



Por las características climáticas de la ubicación del banco y las condiciones de la sala de almacenamiento, solo es posible llevar a cabo una conservación a corto y mediano plazo en condiciones naturales. De hecho es la forma de almacenamiento con la que se ha trabajado desde la implementación de la colección boliviana de quinua.

Los envases utilizados en el almacenamiento son frascos de plástico de 1000 g de capacidad, 0.4 a 2 mm de espesor y con doble tapa. Estos envases responden muy bien a temperaturas que fluctúan entre 8 a 20 °C, una humedad relativa de 15 a 60% y se adecuan bien para un almacenamiento a corto y mediano plazo (IPGRI 1996). En estas condiciones se pueden almacenar y conservar accesiones por alrededor de 20 años, dependiendo del material genético (Figura 8).



Con el propósito de implementar la conservación de quinua a largo plazo en Bolivia, en el año 2002 se iniciaron trabajos de investigación con silica gel y bórax como métodos de secado de semilla, pero los resultados no permitieron alcanzar los niveles de humedad que exigen las Normas para Bancos de Genes (FAO/IPGRI 1994), principalmente por los prototipos artesanales que se construyeron para ese cometido (Rojas y Camargo 2002).

En el siguiente año de trabajo se logró establecer un protocolo para la implementación del almacenamiento a largo plazo (Rojas y Camargo 2003), siguiendo los estándares internacionales (FAO/IPGRI 1994) y se logró iniciar la conservación a largo plazo con 247 accesiones de quinua que corresponden a la 'colección núcleo' (Rojas 2010).



**Figura 8.** Sala de almacenamiento y laboratorio de procesamiento y germinación de semillas del Banco de Germoplasma de Granos Andinos del INIAF de Bolivia

Este trabajo corresponde a la primera experiencia de conservación a largo plazo con el germoplasma boliviano de quinua, donde las muestras de cinco gramos por accesión tienen entre 3 a 7% de contenido de humedad en la semilla. Estas muestras están almacenadas al vacío en sobres de aluminio herméticamente sellados y conservados a 20°C. Luego de cinco años de almacenamiento (2008), se hizo el primer monitoreo de la semilla almacenada a largo plazo. Los resultados fueron alentadores porque el porcentaje de germinación se mantuvo estable entre 90 a 98%, comparándolo con los porcentajes iniciales de germinación.

En el **Perú** los principales bancos de germoplasma donde se almacena quinua cuentan con ambientes y/o habitaciones acondicionados para la conservación y sin equipos de enfriamiento, por lo general los ambientes se mantienen cerrados y la temperatura y humedad son bajas favorecidas por las condiciones climáticas propias de los lugares situados por encima de los 3000 m de altitud, por lo tanto es posible conservar de forma natural el material genético.

En la Universidad Nacional Agraria La Molina, el banco de germoplasma está ubicado en dos localidades, uno en San Lorenzo en el Departamento

de Junín, a 3200 msnm (en condiciones naturales propias del lugar), y en el Campus de La Molina donde se cuenta con dos cámaras frías con una capacidad de 19 m<sup>3</sup> con deshumecedores y termómetros. En este caso las accesiones se conservan a temperaturas de 4-5 °C y 60 a 70% de humedad relativa.

El banco de germoplasma de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno se encuentra ubicado en el Centro de Investigación y Producción de Camacani, en Platería – Puno (15°56'41" S, 69°51'30" W; 3824 msnm). Por su parte el banco de germoplasma del INIA Puno, se encuentra ubicado en la Estación Experimental Illpa (15°40'55" S, 70°04'29" W; 3815 msnm) (Bravo et al. 2010).

En el banco de germoplasma del INIA Puno se almacena la colección de quinua a corto y mediano plazo a temperatura ambiente (Bravo et al. 2010). Mientras que en el Campus de la UNALM el almacenamiento es a corto plazo, tanto en las cámaras frías como en ambientes con enfriamiento natural debido a que son colecciones activas en pleno proceso de incremento y evaluación. En ambos bancos, se utilizan envases de plástico o vidrio para almacenar las semillas.

En **Chile** son cuatro los bancos que conservan colecciones de quinua. El Banco Base del Centro Experimental Vicuña, ubicado en la Región de Coquimbo. Posee una cámara de almacenamiento de 330 m<sup>3</sup>, bajo condiciones controladas que funciona a – 18 °C, 20% humedad relativa de equilibrio y utiliza envases herméticos. Posee capacidad para almacenar 50.000 muestras de semillas. El banco activo del CRI<sup>15</sup> Carillanca (INIA) está ubicado en Temuco (Región de la Araucanía), posee una cámara de almacenamiento que funciona a – 5 °C, 40 a 45% humedad relativa y utiliza envases herméticos (Salazar et al. 2006; León-Lobos et al. 2012; Madrid et al. 2011).

El banco de germoplasma de la Universidad Arturo Prat está ubicado en Iquique (Región de Tarapacá), el almacenamiento se realiza a 4 °C. El banco de semillas Baer está ubicado en el Fundo 'El Hualle' (Región de la Araucanía), el almacenamiento de las semillas se realiza en un ambiente oscuro y a

temperatura y humedad ambiente, esta forma de almacenamiento no permite mantener las semillas en buen estado para su germinación ulterior (Salazar et al. 2006; Madrid et al. 2011).

### Avances en la caracterización y evaluación de quinua.

La caracterización y la evaluación son actividades importantes que consisten en describir las características cualitativas y cuantitativas de las accesiones útiles para discriminar entre ellas, diferenciarlas, determinar su utilidad, formar 'colecciones núcleo', identificar duplicados en la colección, así como también para intercambiar datos y aumentar su utilización. La información sobre estas características junto con los datos de pasaporte constituyen la información esencial para cada accesión, lo que permite a su vez, la creación de bases de datos, redes y plataformas regionales, nacionales e internacionales.

En **Bolivia** en los más de 45 años de existencia de la colección nacional de germoplasma de quinua, los trabajos de caracterización y evaluación centraron sus esfuerzos en el registro de información agromorfológica. En 1985 se publicó el primer catálogo de quinua del banco de germoplasma en la Estación Experimental de Patacamaya (Espindola y Saravia 1985) y en el 2001 se publicó el segundo catálogo (Rojas et al. 2001). Este último describe la variabilidad genética de 2701 accesiones de quinua a través de 59 variables cualitativas y cuantitativas. Si bien la información fue registrada en base al 'Descriptor de Quinua' publicado en 1981 por el IBPGR (actualmente Bioversity International), el catálogo incluye muchas más variables que fueron identificadas en los distintos trabajos que se realizaron desde la década de los 80' del siglo XX.

Posteriormente se hizo una nueva propuesta del 'Descriptores para Quinua' que fue validada entre investigadores de Ecuador, Perú y Bolivia (Rojas et al. 2003). Este documento, fue revisado por más de 50 expertos, de 40 organizaciones de 10 países y sirvió de base para la publicación de la lista actualizada de los 'Descriptores para Quinua y sus parientes silvestres' (Bioversity International et al. 2013). Cabe destacar que en esta versión revisada se incluyeron los parientes silvestres de quinua.

A partir del 2001 se iniciaron los trabajos de evaluación del valor nutritivo y de variables

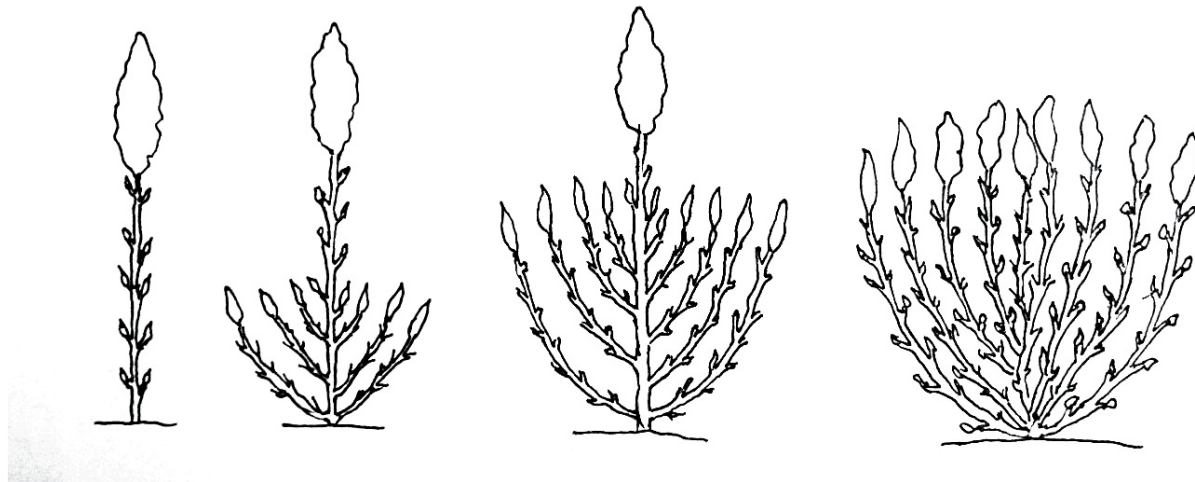
<sup>15</sup> INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile

agroindustriales. Se registró información de 555 accesiones de quinua con el fin de incrementar su uso en la elaboración de productos transformados a base de quinua. Asimismo, se trabajó con la caracterización molecular de la mayoría de las accesiones de quinua (Veramendi et al. 2013). Se presentan a continuación los resultados más sobresalientes por grupos de variables de algunos parámetros y según el número de accesiones evaluadas (Bioversity International et al. 2013; Rojas y Pinto 2013).

#### *Variables agromorfológicas.*

En Bolivia se estudió la variabilidad morfológica y agronómica del germoplasma de quinua que se observa fenotípicamente durante el ciclo de cultivo. Se presentan a continuación los parámetros de algunas variables de interés (Rojas 2003; Rojas et al. 2009; Rojas y Pinto 2013; Bioversity International et al. 2013):

Hábito de crecimiento.-Apesar de que la ramificación y hábito de crecimiento son influenciados por la densidad de siembra, se pudieron identificar en la colección de quinua cuatro diferentes hábitos de crecimiento (Figura 9).



**Figura 9.** Hábitos de crecimiento de la quinua: 1 Simple, 2 Ramificado hasta el tercio inferior, 3 Ramificado hasta el segundo tercio y 4 Ramificado con panoja principal no diferenciada (Rojas y Pinto 2013; Bioversity International et al. 2013)

En la quinua la arquitectura de las plantas es muy variable, no solo entre variedades sino también a nivel intra-poblacional lo que dificulta la adaptación y/o diseño de prototipos para una mecanización de la cosecha y otras labores del cultivo que requiere mucha mano de obra. Por ello, es importante trabajar y seleccionar variedades tomando en cuenta el hábito de crecimiento, como es el caso del 'hábito 1' que corresponde a plantas que no desarrollan ramificación y el 'hábito 2' con ramas hasta el tercio inferior y que podrían muy bien adaptarse a labores mecanizadas. El 'hábito 3' por lo general corresponde a plantas de los valles interandinos, por su arquitectura de planta pueden ser una alternativa para uso como forraje y sus genes pueden contribuir a las zonas expansión del cultivo

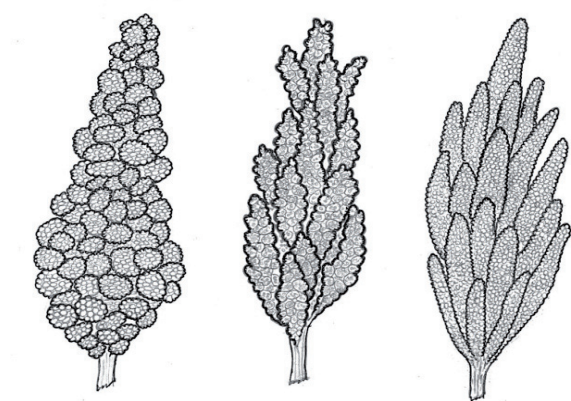
en los valles y en lugares con mayor precipitación (Rojas y Pinto 2013).

Color de la planta.- Entre las etapas de 'despunte de panoja' y el 'inicio de floración' se expresan cuatro colores que son típicos en el cultivo de quinua: verde, púrpura, mixtura y rojo. Sin embargo, a medida que se forma el grano y se alcanza la madurez fisiológica, las plantas de quinua tienen diversos colores y combinaciones de colores: blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, café, gris, negro, mixturas y verde silvestre.

Forma y densidad de la panoja.- Se han observado tres formas de panoja: 'amarantiforme', cuando los glomérulos están insertos directamente en el eje secundario y presentan una forma alargada;



‘glomerulada’ cuando los glomérulos están insertos en los llamados ejes glomerulados y presentan una forma globosa e; intermedia, cuando las panojas que expresan ambas características ‘amarantiforme y glomerulada’ (Rojas y Pinto 2013). Asimismo, la panoja puede ser laxa (suelta) o compacta, característica que está determinada por la longitud de los ejes secundarios y pedicelos, siendo compactas cuando ambos son cortos (Figura 10).



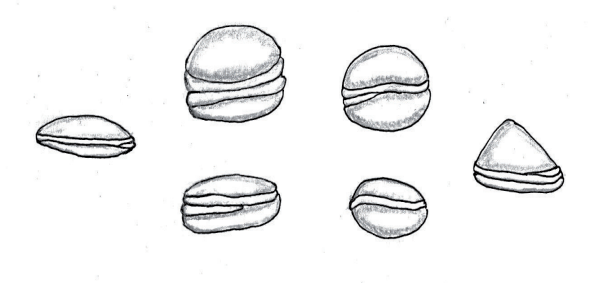
**Figura 10.** Forma de panoja: 1 Glomerulada, 2 Intermedia y 3 Amarantiforme (Rojas y Pinto 2013; Bioversity International et al. 2013)

Con el propósito de ilustrar mejor las formas de panoja, en la Figura 11 se muestran morfotipos de Quinua Real con panoja amarantiforme y glomerulada (Bonifacio et al. 2012). La forma de panoja que predomina en los morfotipos de Quinua Real es la amarantiforme.



**Figura 11.** Formas de panoja amarantiforme (izquierda) y glomerulada (derecha)

**Color y forma del grano.-** Cuando los granos de quinua alcanzan la madurez fisiológica expresan una amplia diversidad de colores, entre ellos: blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, café claro, café oscuro, café verdoso y negro. En la colección nacional de quinua de Bolivia se han caracterizado 66 colores de grano (Cayoja, 1996).

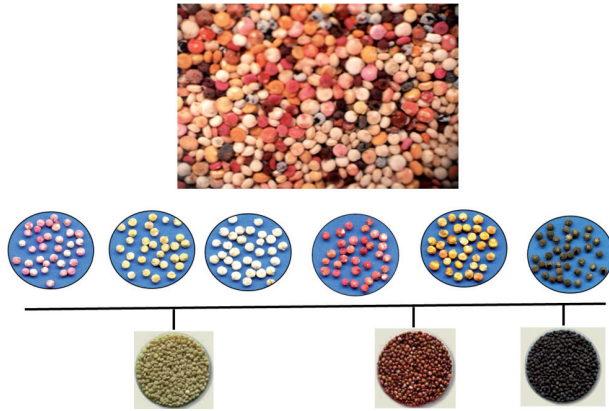


**Figura 12.** Formas de grano de quinua: 1 lenticular, 2 cilíndrica, 3 elipsoidal y 4 cónica (Rojas y Pinto 2013; Bioversity International et al. 2013)

Existen cuatro formas de grano de quinua (Figura 12). Las formas cilíndrica y lenticular (por el aspecto del endosperma), les convierte en granos que se puede explotar adecuadamente para la elaboración de productos que dependiendo de su contenido de amilosa y amilopectina, se pueden usar adecuadamente para flanes, budines e instantáneos, asimismo, dependiendo del diámetro de gránulo del almidón se pueden usar para la elaboración de expandidos y pipocas (Rojas y Pinto 2013).

En la Figura 13 se observa una amplia diversidad de formas, tamaños y colores de granos de quinua, sin embargo, al momento de comprar el producto en los mercados y ferias diferenciamos tres colores: quinuas blancas, quinuas cafés<sup>16</sup> y quinuas negras.

<sup>16</sup> Quinua café – En el mercado internacional es conocida como ‘Quinua Roja’



**Figura 13.** Diversidad de formas, tamaños y colores de grano de quinua comparado con los tres colores comerciales

Los granos de quinua tienen la particularidad de que luego de ser desaponificados adquieren estos tres colores comerciales, por tanto estamos consumiendo mezclas de variedades de quinua e

indirectamente estamos subutilizando el potencial genético que tiene el cultivo. El consumo de quinua tanto en los países de la región Andina como el de las exportaciones corresponde a materia prima y para alcanzar los volúmenes de demanda los agricultores y empresas acostumbran a mezclar un conjunto de variedades.

Diámetro de grano.- La variación del diámetro del grano varía desde 1.36 mm a 2.66 mm, disponiéndose de suficiente variabilidad que podría ser muy bien explotada a través del mejoramiento genético (Rojas 2003). Las quinuas con granos pequeños proceden principalmente del Altiplano Norte y de los Valles Interandinos, mientras que por el contrario las accesiones de grano grande tienen como centro de origen a las áreas del intersalar de Uyuni y Coipasa que corresponde al Altiplano Sur de Bolivia.

**Cuadro 1.** Parámetros estadísticos de tendencia central y dispersión para características cuantitativas del germoplasma de quinua de Bolivia

Componente	Mínimo	Máximo	Media	SD
Botón floral (días)	38	95	51,72	5,66
50% de floración (días)	60	145	93,5	12,04
Madurez fisiológica (días)	119	209	176,89	19,79
Índice de cosecha	0,06	0,87	0,4	0,12
Diámetro de tallo (mm)	10,16	26,26	17,12	2,66
Longitud de panoja (cm)	15,4	62,8	37,41	8,09
Diámetro de panoja (cm)	2,86	19,42	6,85	1,66
Altura de planta (cm)	54	174,2	110,84	17,51
Diámetro del grano (mm)	1,36	2,66	1,96	0,23
Peso de 100 granos (g)	0,12	0,6	0,27	0,08
Contenido de saponina (cc)	0	10,88	3,16	3,02

SD = Desviación estándar; Fuente: Rojas (2003)

Según el IBNORCA (2007), el grano de quinua por su diámetro se clasifica en cuatro categorías: tamaño 'extra grande' (mayores a 2,20 mm), tamaño 'grande' (1,75 a 2,20 mm), tamaño 'mediano' (1,35 a 1,75 mm) y tamaño 'pequeño' (menores a 1,35

mm). En la categoría 'extra grande' se encuentra la 'Quinua Real', cuya característica principal es el tamaño grande de sus granos siendo muy apreciada por el mercado internacional. La Quinua Real es un producto originario de Bolivia, cuya calidad



y reputación se debe exclusivamente al medio geográfico en el que se produce, incluyendo los factores naturales y humanos propios del Altiplano Sur (Rojas y Pinto 2013).

**Ciclo vegetativo.**- Es posible encontrar accesiones que alcanzan la madurez fisiológica en 119 días hasta aquellas que maduran en 220 días (Cuadro 1). Esta característica depende del genotipo. Las quinuas de los Valles Interandinos son más tardías que las del Altiplano. El amplio rango de variación del ciclo vegetativo es alentador para la adaptación del cultivo a la variabilidad de clima y cambio climático.

**Rendimiento de grano por planta.**- Se registraron rendimientos por planta de hasta 250 g, esta variable depende también del genotipo y también

de las variables consideradas componentes de rendimiento, como el diámetro del tallo, altura de planta, longitud y diámetro de la panoja, diámetro del grano, entre otras.

#### *Variables de valor nutritivo y agroindustrial.*

Un resumen de los parámetros estadísticos estimados para cada característica del valor nutritivo y agroindustrial de quinua se presenta en el Cuadro 2, los cuales están expresados sobre base seca (Rojas y Pinto 2006; Rojas et al. 2007; Rojas y Pinto 2008). Se puede observar que las accesiones muestran una amplia variabilidad para la mayoría de las características estudiadas, lo cual es un indicativo del potencial genético del germoplasma de quinua.

**Cuadro 2.** Características de valor nutritivo – agroindustrial y estadísticas simples del germoplasma de quinua de Bolivia (n = 555 accesiones)

Componente	Mínimo	Máximo	Media	SD
Proteína (%)	10,21	18,39	14,33	1,69
Grasa (%)	2,05	10,88	6,46	1,05
Fibra (%)	3,46	9,68	7,01	1,19
Ceniza (%)	2,12	5,21	3,63	0,50
Carbohidratos (%)	52,31	72,98	58,96	3,40
Energía (Kcal/100 g)	312,92	401,27	353,36	13,11
Granulo almidón ( $\mu$ )*	1	28	4,47	3,25
Azúcar invertido (%)*	10	35	16,89	3,69
Agua de empaste (%)*	16	66	28,92	7,34

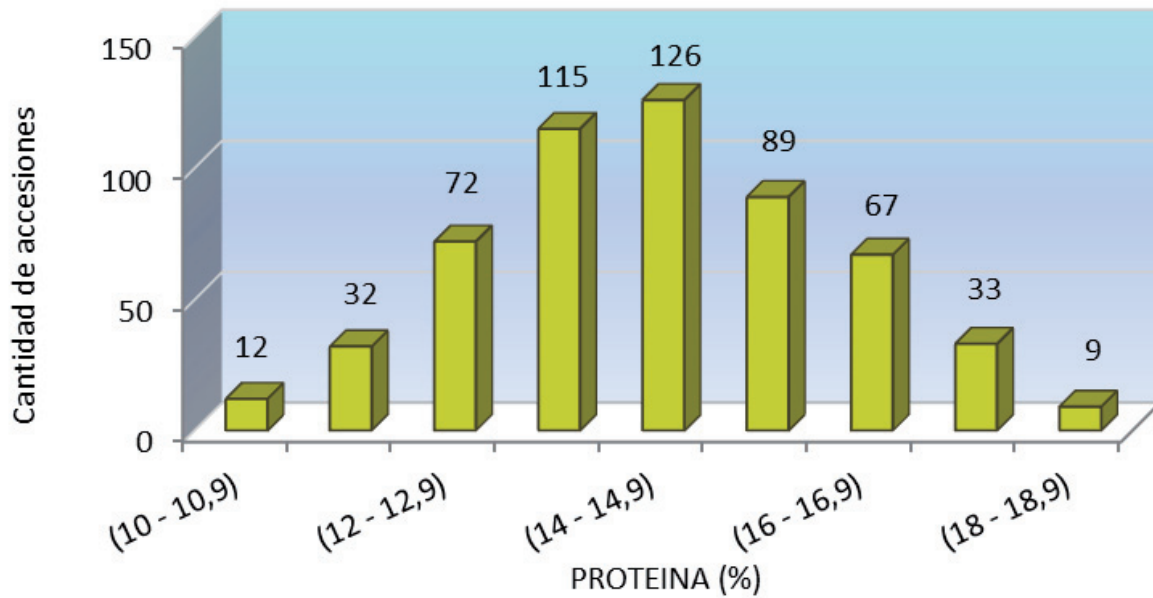
SD = Desviación estándar; Análisis realizado por LAYSAA, Cochabamba, Bolivia; \*(n=266)

Fuente: Rojas y Pinto (2013)

La cantidad de proteína fluctúa de 10,21 a 18,39% (Cuadro 2), estos valores son más amplios que el rango de 11,6 – 14,96% que reportan  $\beta$ o (1991) y Morón (1999) citados por Jacobsen y Sherwood (2002). Si bien la cantidad de proteína es un aspecto básico, la calidad es lo propio y depende del contenido de aminoácidos esenciales. La calidad de proteína de la quinua, es superior a las proteínas de los cereales.

La Figura 14 muestra la distribución de frecuencias

de variación en el contenido de proteína en una parte de la colección de quinua de Bolivia. Se puede observar que en la mayor cantidad de accesiones de quinua el contenido de proteína varía de 12 a 16,9%, mientras que existe un pequeño grupo de accesiones (42) cuyo contenido fluctúa entre 17 a 18,9%. Este último grupo constituye una fuente importante de genes para impulsar el desarrollo de productos con altos contenidos de proteína.



**Figura 14.** Variación del contenido de proteína de 555 accesiones de quinua

En estas accesiones el contenido de grasa fluctúa entre 2,05 a 10,88% con un promedio de 6,39% (Cuadro 2). El rango superior de estos resultados es mayor al rango de 1.8 a 9.3% que reportan *Bo, 1991* y *Morón, 1999* (citados, *Jacobsen y Sherwood, 2002*), quienes indican, que el contenido de grasa de la quinua tiene un alto valor debido a su alto porcentaje de ácidos grasos no-saturados. Se espera que estos valores de quinua sean útiles para la obtención de aceites vegetales finos, para el uso culinario y para el cosmético.

La variación genética del tamaño de gránulo de almidón fluctuó entre 1 a 28  $\mu$ . Esta variable permite dar una orientación agroindustrial para realizar las distintas mezclas con cereales y leguminosas para establecer el carácter funcional de la quinua. Es muy importante que el gránulo de almidón sea pequeño, para facilitar el proceso de texturizado y es fácil de insuflar porque los espacios de gránulo a gránulo permiten introducir mayor cantidad de aire para el intercambio y formación de burbujas de aire (*Rojas et al. 2007*).

El contenido de azúcares invertidos varía de 10% hasta 35%. Esta variable expresa la cantidad de azúcar que inicia la fermentación por el desdoblamiento o inversión, vale decir, el parámetro para determinar la calidad de los carbohidratos, además que es un parámetro importante por el que se puede clasificar

a la quinua como alimento apto para diabéticos. El porcentaje óptimo del contenido de 'azúcar invertido' es  $\geq$  a 25%. Las accesiones analizadas cumplen esta condición y tienen aptitudes para ser usadas en mezclas con harinas para procesar panes, cereales, etc. (siempre y cuando se elimine toda la saponina del exterior del grano).

La variable 'porcentaje de agua de empaste' muestra un rango de variación de 16 a 66%. Esta variable mide la capacidad de absorción de agua del almidón para los procesos de elaboración de pastas, panificación y bollería. El valor ideal para este parámetro en aplicación industrial es  $\geq$  a 50%. Considerando esta característica, el germoplasma de quinua también se constituye en una fuente importante de genes para desarrollar este tipo de productos.

El incorporar el concepto de 'diversidad genética' en la elaboración de productos transformados permitirá usar en forma apropiada el potencial genético que tiene la quinua. Es posible seleccionar y obtener: variedades con porcentajes de proteína más altos ( $\geq$  18%) y lograr productos más atractivos; variedades con diámetros de gránulo de almidón pequeños ( $\leq$  a 3  $\mu$ ) para obtener pipocas<sup>17</sup> espléndidas y homogéneas; variedades

<sup>17</sup> Pipocas – grano insuflado, conocido también como 'pop'

con porcentajes estables de amilosa y amilopectina para la elaboración de flanes, papillas gelatinizadas, cremas instantáneas, fideos, entre otros. Esta forma de aprovechar y usar la quinua va en paralelo con la conservación y uso de la diversidad genética.

#### *Caracterización molecular.*

En la colección boliviana, entre los años 2004 a 2008 se logró caracterizar el 86% (2.701 accesiones) del germoplasma, que permite tener la huella genética de cada accesión de quinua. Asimismo, utilizando la información generada se puede agrupar y diferenciar accesiones similares a nivel molecular. Para la caracterización se utilizaron 17 iniciadores (primers) de tipo microsatélite y marcadores ISSR. El contenido de información polimórfica (PIC) para la colección de quinua, presentó valores entre 0.73 a 0.95 con un promedio de 0.84, resultando todos los marcadores altamente polimórficos (Veramendi et al. 2013). Los microsatélites QAAT074, QAAT076

y QAAT022 resultaron ser los más polimórficos y con valores superiores a los reportados por Mason et al. (2005) y Maughan et al. (2004).

En el **Perú** se han caracterizado y evaluado las 2.089 accesiones en la colección de la Universidad Nacional Agraria La Molina, utilizando los Descriptores de Quinua del IBPGR (1981). A continuación se describen los siguientes grupos de características:

#### *Variables morfológicas.*

En el Cuadro 3 se muestra la variación de los caracteres morfológicos más importantes que fueron registrados en la colección de quinua de la UNALM, lo cual permitió encontrar variantes en todos los caracteres morfológicos. Para el registro de los colores, se empleó la tabla de colores para tejidos vegetales de la Royal Horticultural Society de Inglaterra. En el grano, la evaluación de colores se efectuó en el pericarpio (cubierta del fruto) y en el epispermo (cubierta de la semilla) de quinua.

**Cuadro 3.** Variación de caracteres morfológicos de la colección de quinua de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)

Caracteres morfológicos	Perú (UNALM) ***
Color de las hojas antes de la floración	Verde, púrpura, mezcla, rojo
Color de las axilas de las hojas	Verde, púrpura, rojo, rosado
Color de estrías del tallo	Amarillo, verde, púrpura, rosado, rojo
Color de la inflorescencia a la madurez fisiológica	Amarillo-verdoso, amarillo, marrillo-naranja, naranja, naranja-rojo, rojo, rojo-púrpura, púrpura, púrpura-violeta, violeta, violeta-azul, blanco, blanco-gris, blanco-amarillo, blanco-naranja, gris-amarillo, gris-naranja, gris-rojo, gris-púrpura, gris-verde, gris-marrón, marrón, gris, negro
Forma de inflorescencia	Amarantiforme, glomerulada e intermedia
Densidad de inflorescencia	Compacta, intermedia, laxa
Color del Pericarpio - semillas (cubierta del fruto)	amarillo, amarillo-naranja, naranja, naranja-rojo, rojo, rojo-púrpura, blanco, blanco-amarillo, blanco-naranja, gris-amarillo, gris-naranja, gris-rojo, gris-púrpura, gris-verde, gris-marrón, marrón, gris, negro
Color del episperma- semillas (cubierta de la semillas)	amarillo, amarillo-naranja, naranja, rojo-púrpura, púrpura, blanco, blanco-amarillo, blanco-naranja, blanco-gris, gris-amarillo, gris-naranja, gris-púrpura, marrón, negro

Fuente: Gómez y Eguiluz (2011)

### Variables agronómicas.

Las variables evaluadas, incluyen: la floración, que corresponde al número de días desde la emergencia de las plántulas del suelo hasta 50% de plantas con la primera flor; la maduración, que corresponde al número de días desde la emergencia de las plántulas hasta 50% de plantas con tallos secos y granos en estado pastoso duro; la altura de planta, que fue medido desde la superficie del suelo hasta el ápice de las inflorescencias en el estado de madurez y expresado en centímetros.

En general en la evaluación se apreció una

predominancia de accesiones más precoces y de menor altura en las accesiones procedentes del Altiplano (Puno) y una mayor predominancia de tardías y altas en las otras localidades representativas de los Valles Interandinos (Gómez y Eguiluz 2011). Sin embargo, al agrupar las accesiones por origen geográfico (Cuadro 4) no se distingue un patrón claro de diferenciación entre localidades, al considerar los descriptores altura de planta y días a la floración y maduración. Esto puede ser producto del intercambio de accesiones entre las estaciones experimentales y los agricultores.

**Cuadro 4.** Rango de variación de caracteres agronómicos altura de planta, días a floración y maduración del grano en la colección de quinua de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)

Localidades	Nº Accesiones	Altura (cm)	Floración (días)	Maduración (días)
Ancash	131	90 – 240	70 - 115	170 - 215
Apurímac	140	125 – 240	58 -110	170 - 210
Arequipa	17	64 – 140	85 - 115	170 - 220
Ayacucho	4	89 – 126	60 - 65	160 - 180
Cajamarca	46	77 – 165	55 - 110	150 - 215
Cusco	275	52 – 176	50 - 115	140 - 200
Junín- Huancavelica	6	75 – 141	68 - 80	160 - 190
Puno 2	1434	36 – 185	50 - 98	115 -185
Puno 1	138	75 – 205	46 - 80	130 - 175

Fuente: Gómez y Eguiluz (2011)

En la evaluación del comportamiento del germoplasma frente al mildiu, que es la enfermedad más importante de la quinua causada por el hongo *Peronospora variabilis*, se utilizó la escala propuesta por Solveig y Ames (2000). En el Cuadro 5 se presenta un consolidado de la reacción de las accesiones al mildiu en condiciones del Valle de Mantaro – Junín, considerado como una zona con

alta incidencia de esta enfermedad. No se encontró en esta colección una resistencia total o cualitativa al hongo. Por lo tanto se seleccionó por resistencia parcial o cuantitativa identificándose por el porcentaje de severidad y desarrollo reproductivo del patógeno algunas accesiones valiosas para el programa de mejoramiento.



**Cuadro 5.** Rango de variación de la respuesta a la presencia de mildiu (*Peronospora variabilis*) de 2.089 accesiones de quinua en condiciones del Valle del Mantaro – Junín, Perú.

Departamentos	Nº de accesiones Evaluadas	Rango de Variación (%)	Nº de accesiones Evaluadas con resistencia parcial
Puno	1466	10 - 100	74
Cajamarca	39	40 - 90	0
Arequipa	17	80 - 90	0
Ancash	131	20 - 90	14
Junín	6	30 - 60	1
Huancavelica	1	30	1
Ayacucho	4	40- 60	0
Apurimac	150	20 - 90	18
Cusco	275	30 - 90	12
Total	2089	10 - 100	120

Fuente: Gómez y Eguiluz (2011) *Variables de calidad del grano*.

las 2.089 accesiones de la colección de germoplasma de la UNALM se han caracterizado 953 accesiones por los caracteres granulometría, proteína y saponina.

Para la granulometría, se realizó la clasificación de las accesiones de acuerdo al tamaño del grano, para ello se emplearon mallas con perforaciones con diámetros de 1,4 mm (granos pequeños), 1,7 mm (granos medianos) y 2,2 mm (granos grandes).

Para evaluar la saponina, se aplicó la metodología desarrollada en base a la propuesta de Koziol (1990),

modificado por Balsamo (2002). Koziol (1990) estableció en 0.11% (b.h) el umbral de detección del amargor debido a la saponinas en quinua; por lo que accesiones de quinua con contenidos de saponina menores pueden llamarse dulces (0.7cm altura de espuma) y las quinuas muy amargas sobrepasan los 6.6 cm de altura de espuma que equivale a 1.69 % (b.s.) de saponina.

En el Cuadro 6 se presenta la información generada de estos tres descriptores asociados a la calidad. Considerando el contenido de saponina las quinuas fueron agrupadas en dulces (0) y amargas (1) (Gómez y Eguiluz, 2011).

Localidades	Nº Accesiones	T a m a ñ o (diámetro mm)	Proteína (%)	S a p o n i n a 0=dulce 1= amargo)
Apurímac	145	1.2-1.7	10.3 -16.7	0 -1
Ayacucho	3	1.4	13.1-13.9	1
Cajamarca	12	1.4 -1.7	13.2-14.9	0 -1
Ancash	127	1.2 -2.2	10.3-16.5	0 -1
Cusco	133	1.4 -1.7	13.3 -18.6	0 -1
Junín	3	1.4	14.1-14.3	0 -1
Puno 1	138	1.4-1.7	7-24.4	0 -1
Puno 2 Amargas	220	1.4 -2.2	7.9 -23.7	1
Puno 2 Dulces	172	1.4 -1.7	7.1 - 23.2	0

La Universidad Nacional del Altiplano de Puno, tiene caracterizada 1.029 accesiones usando ocho descriptores fenotípicos (color de tallo, días a la floración, tipo de inflorescencia, color y longitud de inflorescencia, altura de la planta, biomasa y rendimiento del grano). En base a estos caracteres se formó la 'colección núcleo' conformada por 103 accesiones que contienen ecotipos y variedades nativas que representan gran parte de la variación de la colección de germoplasma (Ortiz et al. 1988).

El INIA Puno caracterizó 536 accesiones de quinua (68%) aplicando los descriptores de color de la planta, tipo de inflorescencia, daños por heladas y rendimiento de grano. Los resultados evidencian que el color de la planta (verde, rosado y púrpura) se observa en 149 accesiones. El tipo de inflorescencia predominante es glomerulada con 380 accesiones, 21 son amarantiformes y 135 intermedias. Se identificaron 91 accesiones tolerantes a heladas. El rendimiento del grano tiene una amplia variación (Bravo et al. 2010).

En **Chile**, a la fecha existe caracterización agronómica para 28 accesiones de la colección de la UNAP utilizando 11 descriptores morfológicos y de productividad, (Fuentes y Bhargava 2011). Esta caracterización se realizó a baja altitud, en la Estación Experimental Canchines, de la UNAP (20°26.562'S, 69° 32.197'W, 1005 msnm), cerca de Iquique. Por otro lado, la colección de quinua del Banco Base de Semillas de INIA, fue regenerada y caracterizada el año 2013 y se está en etapa de procesamiento de la información (P. León-Lobos, datos no publicados).

Asimismo se ha evaluado la diversidad genética de las 28 accesiones de la UNAP más 31 accesiones de zonas de baja altitud provenientes de diversos bancos de germoplasma, utilizando marcadores microsatélites (Fuentes et al. 2009). Este estudio logró detectar 150 alelos entre las accesiones de quinua evaluadas, con un promedio de 7,5 alelos por locus. El análisis de componentes principales logró separar las accesiones en 2 grupos discretos, uno conteniendo las accesiones del altiplano y el otro las accesiones de las zonas costeras de baja altitud.

## Procedimientos para la regeneración y multiplicación de las accesiones

En general, aunque las semillas se encuentren almacenadas en las condiciones más óptimas, con el transcurso del tiempo van disminuyendo tanto en su cantidad (por el uso y distribución) como en su porcentaje de germinación. Según Jaramillo y Baena (2000) si el objetivo es llevar las muestras de semillas a un tamaño óptimo, hablamos de 'multiplicación' y si el objetivo es recuperar la germinación hablamos de 'regeneración o rejuvenecimiento'. Es un procedimiento rutinario que forma parte del manejo de un banco de germoplasma, las accesiones cuando caen bajo un umbral de calidad (FAO 2013) y cantidad, deben ser regeneradas y multiplicadas.

En **Bolivia**, en la colección del INIAF, previamente a la regeneración, se realiza el monitoreo a través de pruebas de germinación para conocer el porcentaje de germinación de las semillas, siguiendo los procedimientos establecidos por el ISTA (1993). Las últimas pruebas de germinación de las semillas se han realizado desde el 2010 hasta el 2012 correspondiente a 2.675 accesiones con el fin de monitorear el comportamiento de las accesiones de quinua y de esta forma en base a los resultados planificar la regeneración del germoplasma. En el año 2010 se analizaron 200 accesiones, de las cuales el 31% de las accesiones sus porcentajes de germinación fueron  $\leq$  a 80 y el 69% sus porcentajes de germinación fueron mayor a 80% (Cuadro 7).

En los años 2011 y 2012 se analizaron 2475 accesiones, donde se puede observar que los porcentajes de germinación fueron  $\leq$  a 80 en el 70.11 y 79.40% de las accesiones, respectivamente y los porcentajes de germinación fueron mayores a 80% en el 20.89 y 20.60% de las accesiones, respectivamente (Cuadro 7). En base a estos resultados se vienen programando los trabajos de regeneración, considerando al mismo tiempo las zonas de origen de las accesiones. En cuanto a la cantidad de semilla, se ha determinado el nivel de 60 gramos de quinua para cubrir la cantidad mínima permisible y como parámetro para hacer la multiplicación (Rojas y Bonifacio 2001).

**Cuadro 6. Ocurrencia de semillas germinadas de accesiones de quinua del INIAF, Bolivia.**

Año	País	Semillas germinadas				Total	
		≤ 80 (%)		> 80 (%)			
		Accesiones	%	Accesiones	%	Accesiones	%
<b>2010</b>	04 Bolivia	62	31.00	138	69.00	200	100.00
<b>2011</b>	02 Ecuador	5	62.50	3	37.50	8	100.00
	03 Perú	192	55.81	152	44.19	344	100.00
	04 Bolivia	617	75.89	196	24.11	813	100.00
	05 Chile	9	60.00	6	40.00	15	100.00
	06 Argentina	9	90.00	1	10.00	10	100.00
	07 México	1	50.00	1	50.00	2	100.00
	11 Sin dato	18	78.26	5	21.74	23	100.00
	No identificado	3	100.00	0	0.00	3	100.00
	<b>Total</b>	<b>854</b>	<b>70.11</b>	<b>364</b>	<b>29.89</b>	<b>1218</b>	<b>100.00</b>
<b>2012</b>	02 Ecuador	8	61.54	5	38.46	13	100.00
	03 Perú	85	76.58	26	23.42	111	100.00
	04 Bolivia	891	79.84	225	20.16	1116	100.00
	05 Chile	1	100.00	0	0.00	1	100.00
	07 México	1	50.00	1	50.00	2	100.00
	08 Sin dato	2	100.00	0	0.00	2	100.00
	09 Sin dato	1	50.00	1	50.00	2	100.00
	10 Sin dato	2	100.00	0	0.00	2	100.00
	No identificado	7	87.50	1	12.50	8	100.00
	<b>Total</b>	<b>998</b>	<b>79.40</b>	<b>259</b>	<b>20.60</b>	<b>1257</b>	<b>100.00</b>
<b>Total</b>		<b>1914</b>	<b>71.55</b>	<b>761</b>	<b>28.45</b>	<b>2675</b>	<b>100.00</b>

En el **Perú**, en el banco de germoplasma de la UNALM la regeneración de las semillas se realiza cada 4 a 5 años. Este periodo ha sido determinado en función al efecto de las condiciones de almacenamiento en el poder germinativo de la quinua, la cual pierde muy fácilmente la capacidad de germinación por las condiciones climáticas donde se conserva.

La multiplicación de las accesiones se realiza en el Campus de La Molina que está ubicado en condiciones de sierra a 3200 msnm en grupos pequeños para facilitar el aislamiento. El objeto principal de la multiplicación es incrementar la cantidad de semilla para estudios posteriores de adaptación y rendimiento en diferentes localidades y profundizar los estudios de calidad que incluyen en algunos casos pruebas destructivas.

Los cuidados que se toman en cuenta para evitar la contaminación genética y física de las accesiones, las siembras de regeneración y/o multiplicación se realizan en grupos pequeños y manejables que se

intercalan con accesiones de amaranto, maíz, avena o centeno, asimismo y cuando la situación exige se cultivan en total aislamiento.

#### **Sistemas de documentación que se aplican en el manejo de germoplasma de quinua.**

La actividad de registrar, organizar y analizar datos de conservación se denomina documentación y es fundamental para conocer el germoplasma y tomar decisiones sobre su manejo. El valor del germoplasma aumenta a medida que se le conoce; de ahí la importancia de que esté bien documentado (Jaramillo y Baena 2000).

Las accesiones tendrán mayores posibilidades de uso en la medida que se disponga de información que describa sus características y su potencial genético. Una accesión no puede considerarse como tal si no se dispone de información, por ello es importante documentar la información de manera sistemática con el mayor detalle posible.

En **Bolivia**, en la colección de quinua del INIAF, la información del germoplasma se documenta con un sistema manual y uno electrónico. Los grupos de datos en los que se encuentra organizada la información del germoplasma de quinua son los siguientes: a) datos de pasaporte y recolección, b) datos de caracterización y evaluación y, c) datos de manejo.

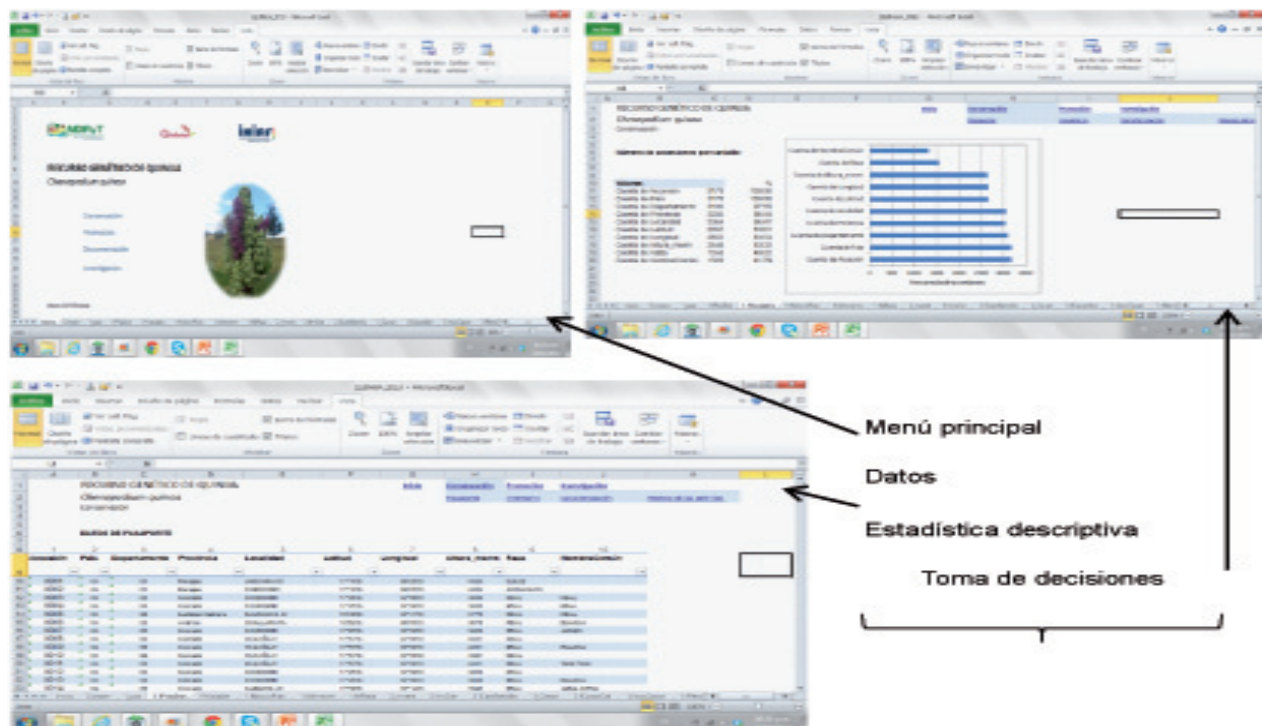
El sistema electrónico está organizado en diferentes bases de datos. En el sistema pcGRIN que fue facilitado por el IPGRI (Hoogendijk y Franco 1999), se encuentran documentadas 2701 accesiones de quinua con la siguiente información: datos de pasaporte, datos de colaboradores, datos geográficos, datos taxonómicos y datos de caracterización y evaluación (Rojas y Quispe 2001).

En Microsoft Excel se tiene organizada la información en matrices de doble entrada, la base de datos es interactiva bajo la estructura de un flujo de información, apoyada con tablas dinámicas y menús para consultas rápidas, se genera estadística descriptiva de datos de inventario, pasaporte y viabilidad que permiten tomar decisiones prácticas (Figura 15).

Finalmente, se tiene un avance parcial en el sistema DBGermo desarrollado por el INTA de Argentina donde está organizada la información de datos de pasaporte, de caracterización y evaluación de la colección de germoplasma de quinua del INIAF.

En el **Perú** la colección de germoplasma de quinua de la Universidad Nacional Agraria La Molina tiene organizada una base de datos tomando en consideración los datos de pasaporte y descriptores para quinua publicados por el IBPGR (1981). Para el análisis estadístico de la información se aplica el programa NTSYS Spc2.1 (Numerical Taxonomy System).

En **Chile** las instituciones que manejan bancos de germoplasma y colecciones de trabajo, registran la información combinadamente en forma manual y computarizada (básicamente el uso de soportes electrónicos como las planillas Excel). Los bancos de germoplasma del INIA se encuentran implementando el Grin-Global, como base de datos curatorial. Los datos de pasaporte de la colección de quinua del INIA están ingresados en este sistema informático y puede ser consultada en línea.



**Figura 15.** Base de datos en Microsoft Excel de la colección de quinua del INIAF, Bolivia



## Experiencias y vínculos con trabajos de conservación *in situ*.

Los Andes constituyen uno de los sistemas montañosos más importantes del mundo, esta gran ecoregión contiene muchos nichos especiales con gran cantidad de asociaciones de plantas. Estas características propias de la región han permitido el desarrollo de la mayor diversidad genética de quinua tanto silvestre como cultivada y que todavía se encuentra en condiciones naturales y en campos de cultivo de los agricultores andinos.

En la región Andina es posible encontrar zonas agroecológicas que albergan una importante diversidad y variabilidad de quinua con características propias en cuanto a sus rasgos botánicos, agronómicos y de adaptación del cultivo. Asimismo, en estas zonas se han desarrollado sistemas propios de producción según las diferentes condiciones agroecológicas y albergan a Quinuas de los Salares, Quinuas del Altiplano, Quinua de los Valles Interandinos, Quinuas de nivel de mar y Quinuas de los Yungas (Lescano 1989; Tapia 1990; Rojas y Pinto 2013).

La conservación *in situ* se define como el mantenimiento de los recursos fitogenéticos en su hábitat natural y sus formas silvestres (Oldfield y Alcorn 1987; Brush 1991; Friis-Hansen 1994). Sin embargo, los sistemas tradicionales de cultivo, las chacras o fincas, a través de los cuales los agricultores tradicionalmente conservan la diversidad de cultivos, son también considerados espacios locales de conservación *in situ* de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación.

Los campos de cultivo tradicionales son una 'mina de germoplasma' donde se mantienen variedades tradicionales y donde la naturaleza realiza su trabajo de selección natural asociada a las tradiciones agrícolas campesinas de reproducción de semillas. Los conocimientos tradicionales son un componente determinante de la diversidad biológica agrícola existente y son las comunidades rurales las responsables de su existencia y evolución. Los conocimientos sobre los cultivos, el uso de alimentos, el arte culinario asociado a estos, las tecnologías e infraestructura de manejo agrícola, el clima local, etc. son tan importantes como los propios recursos genéticos.

En esta forma de conservación *in situ* las familias campesinas desempeñan un rol importante, en donde interactúan una serie de factores externos e internos que inciden en la decisión de ellos para continuar sembrando o no una determinada variedad y/o cultivo. Son dinámicas locales que se dan en aquellos territorios que albergan una amplia diversidad de cultivos y variedades, y donde el manejo permanente de las diferentes variedades locales que realizan las familias va a conferir una dinámica evolutiva de adaptación a las condiciones ambientales, sociales y económicas de los materiales sembrados.

Si bien la conservación *ex situ* es un modelo que opera a través de bancos de germoplasma que han sido conformados con el material biológico proveniente de diversas prospecciones realizadas *in situ* y en fincas, es muy difícil que los bancos de germoplasma posean el mismo material que existe *in situ* por varias razones (Wood y Lenné, 1997). Por un lado, la diversidad local está en permanente evolución y las accesiones entregadas a los bancos de germoplasma corresponden a una fotografía o imagen de una situación en un tiempo determinado o época. Por otro lado, los lugares con una grande diversidad geográfica donde se cultiva la quinua no han sido prospectados con la misma metodología para representar la variabilidad de una determinada región, y del país, en los bancos de germoplasma (Madrid et al. 2011).

La alta diversidad genética de la quinua proviene de una amplia diversidad geográfica que se junta a una diversidad de prácticas y sistemas agrícolas (Bazile y Negrete 2009; Fuentes et al. 2012). La comprensión y dimensión de esta diversidad no solo tiene que ser considerada para recolectar la diversidad genética de quinua sino también para mantenerla como soportes de la diversidad del cultivo para su conservación *in situ* (Louafi et al. 2013), en particular a través de las redes que favorecen y generan esta biodiversidad (Santonieri et al. 2011).

Para favorecer la conservación *in situ* de la quinua, se han desarrollado iniciativas de apoyo a nivel de Los Andes. Por ejemplo en **Bolivia**, desde el 2002 se realizaron los primeros trabajos de conservación *in situ* con quinua en el área circundante al lago Titicaca, se estudió el número de variedades que se conservaban localmente en los sistemas tradicionales de manejo. Los resultados mostraron

una disminución de hasta el 70% de la diversidad conservada localmente en comparación a la diversidad que se resguarda en el banco de germoplasma (Pinto et al. 2006; Pinto et al. 2007; Rojas et al. 2003b). Subsiguientemente, estudios de caso mostraron de forma preliminar cómo los factores internos y factores externos estaban influenciando en las familias para seguir o no sembrando variedades de quinua (Alanoca et al. 2004).

Como parte de la relación *exsitu-in situ*, desde el 2003 se realizaron anualmente trabajos de evaluación participativa con quinua incluyendo material del banco y variedades locales. Se organizaron ferias de diversidad de semillas y para promover el uso diversificado de quinua (Pinto et al. 2010). Se promovieron visitas de agricultores al banco de germoplasma, como así también la participación de personal del banco en diferentes ferias rurales y urbanas. De esta forma, los ‘bancos comunitarios de semillas de quinua y cañahua’ surgieron en el marco del Sistema Nacional de Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación (SINARGEAA) y se implementaron en las comunidades Antarani, Patarani, Coromata Media y Rosapata, cercanas al Lago Titicaca (Rojas et al. 2012).



Desde el 2011, se encuentra en proceso la conformación de una red de ‘agricultores custodios’ y la implementación de ‘bancos comunitarios de semillas’ en ocho comunidades (Cachilaya, Coromata Media, Antaquira, Pucamaya, Erbenkalla, Rosa Pata, Corqueamaya y Suruquiña) cercanas al lago Titicaca como parte de una estrategia para la documentación y monitoreo participativo de la agrobiodiversidad y sus conocimientos tradicionales. Esta experiencia tiene el enfoque de agrobiodiversidad, centra los esfuerzos en conocer y atender la diversidad inter e intra específica de cultivos útiles para la alimentación, la medicina y otros usos. Asimismo, incluye el desarrollo de un nuevo método sobre una lista roja para especies cultivadas (Padulosi et al. 2012).

Por otra parte, la colección de quinua a cargo del INIAF se encuentra vinculada a dos microcentros del área circundante al Lago Titicaca y que están ubicados en la comunidad de Cachilaya (Provincia Los Andes) y la comunidad de Titijoni (Provincia Ingavi) del Altiplano Norte de La Paz (Figura 16). En estos microcentros se realizan trabajos de conservación *in situ* que incluyen monitoreo y caracterización de la diversidad genética de cultivos y variedades que conservan las familias, tomando en cuenta las dinámicas locales e interacciones con y su entorno.



**Figura 16.** Microcentros: Titijoni (izquierda) y Cachilaya (derecha), Departamento de La Paz, Bolivia

La conservación *in situ* en **Perú** se realiza mayormente en Puno, mediante el cultivo anual de la quinua en las *Aynokas* o zonas donde comparte espacio con sus parientes silvestres. Este manejo tradicional se realiza con muchos objetivos, principalmente, asegurar la alimentación de la familia y de la comunidad y manejar en forma adecuada la diversidad del cultivo, de las plagas y enfermedades; especialmente a través de un sistema de rotación y la ubicación del cultivo en diferentes pisos altitudinales (Ichuta y Artiaga 1986).

Mujica y Jacobsen (2000) señalan la presencia de sistemas donde la quinua y sus parientes silvestres son preservados recibiendo diferentes nombres como *mandas* y *laymes*. También los parientes silvestres se encuentran creciendo en forma aislada en los bordes de los campos de cultivo o en lugares considerados sagrados (Casa de los Gentiles o *Phiru*), estas especies son apreciadas por los agricultores por su uso alimenticio (hojas - hortícola o granos - tostados), valor medicinal o por su uso en rituales ancestrales, especialmente en épocas de desastres climáticos.

### Conclusiones.

Los recursos fitogenéticos de quinua son esenciales para la seguridad y soberanía alimentaria y nutricional de los pueblos y contribuyen significativamente a las necesidades básicas de la humanidad. Ellos son parte del patrimonio ancestral y cultural de los países, especialmente para los países de la zona Andina, y por lo tanto su conservación y uso sostenible es responsabilidad de la sociedad entera.

En general, en los países andinos las políticas no son claras en materia de conservación de los recursos fitogenéticos, y en particular, para la conservación *ex situ* de las colecciones de germoplasma de quinua. Los bancos desarrollan sus actividades según los objetivos o intereses de la institución a cargo y muchas veces según los intereses de los investigadores. No se debe escatimar ningún esfuerzo al momento de asignar presupuestos pues se trata de recursos tan valiosos que se deben transmitir de generación en generación para el respaldo de nuestra propia existencia como especie humana.

La diversidad genética de quinua conservada *ex*

*situ* en los diferentes países es relativamente amplia considerando el número de accesiones en las colecciones y su origen eco-geográfico. Más del 88% de esta diversidad se encuentra en los bancos de la región Andina. A pesar de esta concentración que podría facilitar el aprovechamiento de estos recursos, el nivel de utilización de las colecciones es inadecuado y muy por debajo de su potencialidad.

A pesar del esfuerzo realizado, no todos los bancos de germoplasma de la región Andina que conservan quinua tienen condiciones óptimas de almacenamiento para asegurar la conservación a mediano y largo plazo de este germoplasma. Se debe avanzar en la adopción de tecnologías que permitan optimizar la conservación de las colecciones de quinua en forma eficiente y segura, de esta forma racionalizar los recursos invertidos en la mantención de las colecciones y alcanzar los estándares internacionales para el manejo de germoplasma.

Se debe hacer el esfuerzo en desarrollar o adaptar protocolos y procedimientos que permitan optimizar el manejo de las colecciones de quinua. Esto permitiría, además de optimizar y racionalizar el manejo del banco, potenciar el uso del germoplasma y la vinculación entre bancos de germoplasma y también con los potenciales usuarios del germoplasma conservado.

En general, las bases de datos en donde se registra la información que generan los bancos es muy restringida al personal del banco, ya que todos no tienen acceso en línea, por lo que la divulgación de sus datos solo es a través de informes técnicos, publicaciones científicas y en algunos casos a través de catálogos de germoplasma. Salvo para el caso de INIA – Chile, no existen sitios web públicos con la información mínima de las accesiones de quinua que se conservan en los bancos de germoplasma.

Son pocas las iniciativas que vinculan las actividades de los bancos de quinua con el trabajo de conservación *in situ* que realizan las familias de agricultores, es importante que el enfoque de trabajo sea de manera complementaria entre el trabajo *ex situ* y el *in situ* porque las desventajas de uno se compensan con las ventajas del otro componente de conservación, pues es especialmente el material que se conserva *in situ* el que contiene genes importantes para el mejoramiento.

Se advierte la necesidad de desarrollar protocolos y/o listas de descriptores *in situ* para registrar la agrobiodiversidad que se maneja en los sistemas tradicionales de cultivo y principalmente involucrar a los miembros de la comunidad para llevar a cabo este trabajo en coordinación con actores locales como los municipios y otras organizaciones.

En Bolivia a la cabeza del INIAF se está iniciando la conformación de un Sistema Nacional de Recursos Genéticos, que contempla la participación de los diferentes actores del país que trabajan con conservación *ex situ* e *in situ*, incluyendo a las organizaciones de agricultores.

### Referencias.

- Alanoca, C., J. Flores, J.L. Soto, M. Pinto y W. Rojas. (2004). Estudios de caso de la variabilidad genética quinua en el área circundante al Lago Titicaca. Informe Anual 2003/2004. Proyecto McKnight "Producción sostenible del cultivo de la quinua". Fundación PROINPA. 7 p.
- Anabalón Rodríguez L. & Thomet Isla M. (2009). Comparative analysis of genetic and morphologic diversity among quinoa accessions (*Chenopodium quinoa* Willd.) of the South of Chile and highland accessions. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 1, 210 – 216.
- Argentina MNII (2013). Mecanismo Nacional de Intercambio de Información sobre los Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.pgrfa.org/gpa/arg>
- Balsamo Milko. (2002). Desarrollo y evaluación de un método afrosimétrico mecánico para la determinación de saponinas en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)". Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Barriga, P., R. Pessot y R. Scaff. (1994). Análisis de la diversidad genética en el germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) recolectado en el sur de Chile. *Agro Sur* 22 (No. Esp.): 4.
- Bazile D. (ed.), Negrete Sepulveda J. (ed.). (2009). Quínoa y biodiversidad: Cuáles son los desafíos regionales?. *Revista geografica de Valparaíso* (42) (spéc.): 1-141.
- Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA. (2013). Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Bioversity International, Roma, Italia; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, La Paz, Bolivia; Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Roma, Italia.
- Bonifacio, A., G. Aroni y M. Villca. (2012). Catálogo Etnobotánico de la Quinoa Real. Cochabamba, Bolivia. 123 p.
- Bonifacio, A., A. Mujica, A. Alvarez y W. Roca. (2004). Mejoramiento genético, germoplasma y producción de semilla. In: A. Mujica, S. Jacobsen, J. Izquierdo y JP. Marathe (eds). Quinoa: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile. pp 125-187.
- Bravo, R. y P. Catacora. (2010). Situación actual de los bancos nacionales de germoplasma. In: R. Bravo, R. Valdivia, K. Andrade, S. Padulosi y M. Jagger (eds). Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañihua y kiwicha en Perú. Bioversity International, Roma, Italia. pp 15-18.
- Brush, S. B., (1991) A farmer-based approach to conserving crop germplasm. *Economic Botany* 45: 153-165. p.3-30.
- Cayoja, M.R. (1996). Caracterización de variables continuas y discretas del grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del banco de germoplasma de la Estación Experimental Patacamaya. Tesis de Lic. en Agronomía. Oruro, Bolivia, Universidad Técnica Oruro, Facultad de Agronomía. 129 p.
- Chile MNII (2013). Mecanismo Nacional de Intercambio de Información sobre Recursos Fitogenéticos. <http://www.pgrfa.org/gpa/chl>
- Cubillos, A. (1994). Recursos Fitogenéticos de la Biodiversidad Chilena: Una proposición de Priorización para su Preservación. *Simiente*. 64(4):229-235.
- Cubillos, A. y León, P. (1995) Chile: Informe Nacional para la Conferencia Técnica Internacional de la FAO sobre los Recursos Fitogenéticos. Santiago de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. p. 22-46.
- Ecuador MNII (2013). Mecanismo Nacional de Intercambio de Información sobre Recursos



Fitogenéticos. <http://www.pgrfa.org/gpa/ecu>

Ellis, R.H. and E.H. Roberts. (1980). Improved equations for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany* 45, 13-30.

Ellis, R. H., Hong, T. D. and Roberts, E. H. (1988). A low-moisture-content limit to logarithmic relations between seed moisture content and longevity. *Annals of Botany* 61: 405-408.

Engels, J.M.M. y L. Visser. (eds.). (2003). A guide to effective management of germplasm collections. IPGRI Handbooks for Genebanks. No. 6. IPGRI, Rome, Italy.

Espindola, G. y R. Saravia. (1985). Catálogo de quinua del banco de germoplasma en la Estación Experimental de Patacamaya. La Paz, Bolivia, MACA – IBTA pp 2-11

FAO WIEWS (2013). Sistema Mundial de Información y Alerta sobre los Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación. <http://apps3.fao.org/wiews>

FAO. (2013). Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. 167 p.

FAO (2012). Segundo Plan de acción mundial para los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Roma, Italia. 103 p.

FAO. (2010). El Segundo Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la para la agricultura y la alimentación en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 372 p.

FAO. (2001). Mujica, A.; Jacobsen, S.E.; Izquierdo, J.; y Marathe, J. P. (Editores). [\*Quinua \(Chenopodium quinoa Willd.\); Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro\*](#). FAO. Santiago de Chile. 2001.

FAO. (1996). Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la para la agricultura y la alimentación en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia. 75 p.

FAO/IPGRI. (1994). Genebanks Standards. United Nations Food and Agriculture Organization &

International Plant Genetic Resources Institute, Rome. 13 p.

Friis-Hansen, E. (1994), Conceptualizing *in situ* conservation of landraces. In Widening Perspectives on Biodiversity, A. F. Krattiger et al. (Editors). Gland, Switzerland: IUCN and Geneva: international Academy of the Environment. p. 263-276

Fuentes F., Bazile D., Bhargava A., Martinez E.A. (2012). Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science*, **150** (6): 702-716. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859612000056>

Fuentes, F.F., E.A. Martinez, P.V. Hinrichsen, E.N. Jellen, P.J. Maughan (2009) Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conserv Genet*. 10(2): 369-377.

Fuentes F & A. Bhargava. (2011). Morphological Analysis of Quinoa Germplasm Grown Under Lowland Desert Conditions. *J. Agronomy & Crop Science* 197: 124-134.

Fuentes, F., E. Martinez, J. Delatorre, P. Hinrichsen, E. Jellen y J. Maughan. (2006). Diversidad genética de germoplasma chileno de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) usando marcadores de microsatélites SSR. In: A. Estrella, M. Batallas, E. Peralta y N. Mazón (eds). *Resúmenes XII Congreso Internacional de Cultivos Andinos*. 24 al 27 de julio de 2006. Quito, Ecuador.

Gandarillas, H. (1979a). Genética y origen. En: M. Tapia (ed). *Quinua y Kañiwa, cultivos andinos*. Bogotá, Colombia, CIID, Oficina Regional para América Latina. pp 45-64.

Gandarillas, H. (1979b). Botánica. En: M. Tapia (ed). *Quinua y Kañiwa, cultivos andinos*. Bogotá, Colombia, CIID, Oficina Regional para América Latina. pp 20-44.

Gandarillas, H. (1968). Razas de quinua. Bolivia, Ministerio de Agricultura. División de Investigaciones Agrícolas. *Boletín Experimental* N° 4, 53 p.

Gómez, L. y A. Eguiluz. (2011). Catálogo del Banco de Germoplasma de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), Universidad Nacional Agraria La Molina. p183.

- Hawkes, J.G. (1980). Crop genetic resources field collection manual. IBPGR and EUCARPIA. University of Birmingham. England.
- Hoogendijk M. y T. Franco. (1999). pcGRIN, un sistema de documentación integral para bancos de germoplasma. IPGRI, Oficina para las Américas. Cali, Colombia. En: II Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe (SIRGEALC), Brasilia, DF, Noviembre 21-26 de 1999.
- IBNORCA. (2007). Granos Andinos – Quinua en grano – Clasificación y requisitos. NB 312004. Norma Boliviana. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad – IBNORCA. Julio, 2007.
- IBPGR. (1981). Descriptores de Quinua. Roma: International Board for Plant Genetic Resources. 18p.
- Ichuta, F.; Artiaga, E. (1986). Relación de géneros en la producción y en la Organización Social en Comunidades de Apharuni, Totoruma, Yauricani-Illave. Informe para optar el grado de Bachiller en Trabajo Social. Puno, Peru. pp. 15-17
- IPGRI. (1996). Evaluation of seed storage containers used in genebanks. Report of a survey. International Plant Genetic Resources Institute, Italia 25 p.
- ISTA. (1993). International rules for seed testing. Seed Science and Technology, 21, Supplement. International Seed Testing Association, Suiza. 288 p.
- Jacobsen, S.E. y S. Sherwood. (2002). Cultivo de Granos Andinos en Ecuador. Informe sobre los rubros quinua, chocho y amaranto. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Centro Internacional de la Papa (CIP) y Catholic Relief Services (CRS). Quito, Ecuador. 89 p.
- Jaramillo, S. y M. Baena. (2000). Material de apoyo a la capacitación en conservación ex situ de recursos fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. 210 p.
- Koziol, M. (1990) Desarrollo del Método para determinar el contenido de saponinas en la quinua. En: Quinua, hacia su cultivo comercial. Wahli, C.: 175-185. Latinreco S.A. Quito, Ecuador.
- León-Lobos, P., M. Way, P. Davila-Aranda and M. Lima-Junior. (2012). The rol of ex situ seed Banks in the conservation of plant diversity and in ecological restoration in Latin America. Plant Ecology & Diversity 5(2): 245-258.
- León-Lobos, P., I. Seguel y F. Condon. (2010). Conservación Ex situ de los Recursos Fitogenéticos. En: A. Berreta (ed.) Estrategia en los recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur: 41-58. IICA Montevideo: PROCISUR, IICA.
- Lescano, J.L. (1994). Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos: quinua, kañihua, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco, mashua y oca. Programa Interinstitucional de Waru Waru, Convenio INADE/PELT - COTESU. Puno, Perú. 459 p.
- Lescano, J.L. (1989). Avances sobre los recursos fitogenéticos altoandinos. En: Curso: “Cultivos altoandinos”. Potosí, Bolivia. 17 - 21 de abril de 1989. pp 19-35.
- Louafi S., Bazile D., Noyer J.L. (2013). Conserver et cultiver la diversité génétique agricole : aller au-delà des clivages établis. In: *Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture*. Versailles: Ed. Quae, p. 185-222.
- Madrid, D. (2011). Aportes de la geografía a la conservación ex situ de recursos genéticos de importancia agrícola – El caso de la quinua en Chile. Tesis para optar el título de Geógrafo. Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Octubre de 2011. Valparaíso, Chile.
- Madrid D., Bazile D., Martinez E.A., Negrete Sepulveda J. (2011). Herramientas de la geografía para mejorar la conservación de la biodiversidad agrícola. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geograficas* : 304-310.
- Mujica A. y Jacobsen, S.E. (2000). Agrobiodiversidad de las Aynokas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y la seguridad alimentaria. pp.151-156 En: C. Felipe-Morales & A. Manrique (eds.). Proc. Seminario Taller Agrobiodiversidad en la Región Andina y Amazónica. 23-25 noviembre. 1988, NGO-CGIAR, Lima.
- Mujica, A. (1992). Granos y leguminosas andinas. In: J. Hernandez, J. Bermejo y J. Leon (eds). Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Roma. pp 129-146.
- Mason SL, Stevens MR, Jellen EN, Bonifacio A, Fairbanks DJ, Coleman CE, McCarty RR, Rasmussen AG, Maughan PJ. (2005). Development and

use of microsatellite markers for germplasm characterization in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Crop Sci* 45:1618–163.

Maughan J, Bonifacio A, Jellen E, Stevens M, Coleman C, Ricks M, Mason S, Jarvis D, arduña B, Fairbanks D. (2004). A genetic linkage map of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on AFLP, RAPD, and SSR markers. *Theor Appl Genet* 109:1188–1195.

Oldfield, M. and J. Alcorn. (1987). Conservation of traditional agroecosystems. *BioScience*, 1987. 37: 199-208.

Ortiz, R.; Ruiz-Tapia, E.N.; Mujica-Sanchez, A. (1998). Sampling strategy for a core collection of Peruvian quinoa germplasm. *Theor Appl Genet* 96: 475D483

Padulosi S., P. Bala Ravi, W. Rojas, S. Sthapit, A. Subedi, E. Dulloo, K. Hammer, R. Vögel, M.M. Antofie, V. Negri, N. Bergamini, G. Galluzzi, M. Jäger, B. Sthapit, R. Rana, I. Oliver King, N. Warthmann. (2012). “Red list for cultivated species: why we need it and suggestions for the way forward”. Poster presented at the World Conservation Congress, Jeju, Korea, 3-13 September, 2012.

Peralta, E. (2006). Los cultivos Andinos en el Ecuador. Bancos de germoplasma, Fitomejoramiento y Usos: pasado, presente y futuro. En: A. Estrella, M. Batallas, E. Peralta y N. Mazón (eds). *Resúmenes XII Congreso Internacional de Cultivos Andinos*. 24 al 27 de julio de 2006. Quito, Ecuador.

Pinto, M., W. Marin, V. Alarcón y W. Rojas. (2010). Estrategias para la conservación y promoción de los granos andinos: ferias y concursos. En: W. Rojas, M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds). *Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Bioversity International, Roma, Italia. pp 73-93.

Pinto, M., J. Flores, C. Alanoca, E. Mamani y W. Rojas. (2007). Bancos de germoplasma comunales contribuyen a la conservación de quinua y cañahua. En: W. Rojas (ed) “Manejo, conservación y uso sostenible de los recursos genéticos de granos altoandinos, en el marco del SINARGEAA”. Informe Anual 2006/2007. Proyecto SIBTA-SINARGEAA. MDRAMA - Fundación PROINPA. pp 200-205.

Pinto, M., J. Flores, C. Alanoca y W. Rojas. (2006). Implementación de bancos de germoplasma

comunales. Informe Anual 2005/2006. Proyecto SIBTA-SINARGEAA “Manejo, conservación y uso sostenible de los recursos genéticos de granos altoandinos, en el marco del SINARGEAA”. MDRAMA - Fundación PROINPA. pp 280-288.

Rao, N.K., J. Hanson, M.E. Dulloo, K. Ghosh, D. Novell y M. Larinde. (2007). Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8. Bioversity International, Roma, Italia.

Rojas, W. y M. Pinto. (2013). La diversidad genética de quinua de Bolivia. En: Vargas, M. (Editor. 2013). *Congreso Científico de la Quinua (Memorias)*. La Paz, Bolivia. pp 77 - 92.

Rojas, W., M. Pinto, J. Flores and V. Polar. (2012). The contribution of community genebanks to in situ conservation of quinoa and cañahua: the experience of Bolivia. In: Padulosi, S., N. Bergamini and T. Lawrence (editors 2012). *On farm conservation of neglected and underutilized species: status, trends and novel approaches to cope with climate change*. Proceedings of the International Conference, Frankfurt, 14-16 June, 2011. Bioversity International, Rome, Italy. pp 65-76.

Rojas, W., M. Pinto y J.L. Soto. (2010). Distribución geográfica y variabilidad genética de los granos andinos. En: W. Rojas, M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds.). *Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Bioversity International, Roma, Italia. pp 11- 23.

Rojas, W., M. Pinto, A. Bonifacio y A. Gandarillas. (2010a). Banco de Germoplasma de Granos Andinos. En: W. Rojas, M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds.). *Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Bioversity International, Roma, Italia. pp 24-38.

Rojas, W. (2010). Colección Núcleo de Granos Andinos. En: W. Rojas, M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds.). *Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Bioversity International, Roma, Italia. pp 54-72.

Rojas, W., M. Pinto y E. Mamani. (2009). Logros e impactos del Subsistema Granos Altoandinos, periodo 2003 – 2008. En *Encuentro Nacional de*

Innovación Tecnológica, Agropecuaria y Forestal. INIAF. Cochabamba, 29 y 30 de junio de 2009. pp 58-65.

Rojas, W. y M. Pinto. (2008). Evaluación del valor nutritivo de accesiones de quinua y cañahua silvestre. En: M. Pinto (ed.) Proyecto Implementation of the UNEP-GEF project, "In situ conservation of crop wild relatives through enhanced information management and field application." Informe de Fase 2005-2008. Fundación PROINPA. La Paz, Bolivia. pp 54-60.

Rojas, W., M. Pinto y E. Alcocer. (2007). Diversidad genética del valor nutritivo y agroindustrial del germoplasma de quinua. Revista de Agricultura – Año 59 Nro. 41. Cochabamba, diciembre de 2007. pp 33-37.

Rojas, W. y M. Pinto. (2006). Evaluación del valor nutritivo y agroindustrial de accesiones de quinua y cañahua. En: W. Rojas (ed.) Proyecto Manejo, Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos de Granos Altoandinos, en el marco del SINARGEAA. Informe Final 2005-2006. Fundación PROINPA. La Paz, Bolivia. pp 32-42.

Rojas, W. (2003). Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. Food Reviews International. Vol. 19 (1-2): 9-23.

Rojas W., M. Pinto y A. Camargo, (2003). Estandarización de listas de descriptores de quinua y cañahua. En: Informe Técnico Anual 2002 - 2003. Año 2. Proyecto IPGRI-FAD "Elevar la contribución que hacen las especies olvidadas y subutilizadas a la seguridad alimentaria y a los ingresos de la población rural de escasos recursos". Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia. pp 59-94.

Rojas, W., M. Pinto y J.L. Soto. (2003b). Estudio de la variabilidad genética de quinua en el área circundante al Lago Titicaca. Informe Anual 2002/2003. Proyecto Mcknight. Fundación PROINPA. 8 p.

Rojas, W. y A. Camargo. (2002). Reducción de la humedad del grano de quinua para almacenamiento a largo plazo. Informe anual 2001-2002 Proyecto Mcknight. Fundación PROINPA. 6 p.

Rojas, W. y A. Camargo. (2003). Establecimiento de un método de reducción del contenido de la humedad del grano de quinua. Informe Anual

2002/2003. Proyecto Mcknight. Fundación PROINPA. 4 p.

Rojas, W. (2002). Distribución geográfica de la colección de germoplasma de quinua. Informe Anual 2001/2002. Proyecto Mcknight. Fundación PROINPA. 5 p.

Rojas, W., M. Cayoja y G. Espindola. (2001). Catálogo de colección de quinua conservada en el Banco Nacional de Granos Altoandinos. Fundación PROINPA, MAGDER, PPD-PNUD, SIBTA-UCEPSA, IPGRI, IFAD. La Paz, Bolivia. 129 p.

Rojas, W. y A. Bonifacio. (2001). Multiplicación de accesiones tardías de quinua bajo condiciones de invernadero. Informe Anual 2000/2001. Fundación PROINPA. 4 p.

Rojas, W. y R. Quispe. (2001). Documentación electrónica del germoplasma de quinua. Informe 2001. Proyecto Conservación y Manejo de la Variabilidad Genética de la Colección de Germoplasma de Quinua. PPD/PNUD. Fundación PROINPA. La Paz, Bolivia. pp 17-19.

Salazar, E.; León, P; Muñoz, C. y Rosas, M. (2006). Estado de la conservación *ex situ* de los recursos fitogenéticos cultivados y silvestres en Chile. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 156. 2006, 180 p.

Santonieri L., Madrid D., Salazar E., Martinez E.A., Almeida M., Bazile D., Emperaire L. (2011). Analyser les réseaux de circulation des ressources phylogénétiques : une voie pour renforcer les liens entre la conservation *ex situ* et local. In : *Les ressources génétiques face aux nouveaux enjeux environnementaux, économiques et sociétaux : Actes du colloque FRB, 20, 21, 22 septembre 2011, Montpellier (France)*. Paris : FRB, p. 76-78. Colloque FRB : Les ressources génétiques face aux nouveaux enjeux environnementaux, économiques et sociétaux, 2011-09-20/2011-09-22, Montpellier, France. [http://www.fondationbiodiversite.fr/images/stories/telechargement/actes\\_colloque\\_rg\\_web.pdf](http://www.fondationbiodiversite.fr/images/stories/telechargement/actes_colloque_rg_web.pdf)

Sevilla, R., Holle M. (2004). Recursos Genéticos Vegetales. Lima, Perú. 113 p.

Solveig, D. y T. Ames. (2000). El Mildiu (Perenospora farinose) de la Quinua (Chenopodium quinoa) en la Zona Andina. Manual Práctico para el estudio de la



enfermedad y el patógeno. C I P. 32 pp

Tapia, M. (1990). Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA – FAO, Oficina para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile.

Tapia, M.E.; Mujica, S.A.; Canahua, A. (1980). Origen, distribución geográfica y sistemas de producción en quinua. In “Primera Reunión sobre Genética y Fitomejoramiento de la quinua”.. Universidad Técnica del Altiplano, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Centro de Investigación Internacional para el Desarrollo , Puno, Peru. Pp. A1-A8

Tapia, M. (1977). Investigaciones en el banco de germoplasma de quinua. En: Universidad Nacional Técnica del Altiplano (ed.). Curso de Quinua. Fondo

Simón Bolívar. IICA - UNTA. Puno, Perú. pp 66-70.

Veramendi, S., A. Bonifacio, X. Cadima y W. Rojas. (2013). Caracterización de la diversidad genética de la colección boliviana de quinua, utilizando microsatélites. En: Vargas, M. (Editor. 2013). Congreso Científico de la Quinua (Memorias). La Paz, Bolivia. pp 43 - 53.

Wood D, Lenné JM. (1997). The conservation of agrobiodiversity on farm: questioning the emerging paradigm. *Biodiversity and Conservation*, 1997. 6: 109-29. p.109-123.





**CAPÍTULO: 1.6.****TÍTULO: LOS SISTEMAS QUE REGULAN EL INTERCAMBIO DE LOS RECURSOS GENÉTICOS: IMPORTANCIA PARA EL ACCESO, LA CIRCULACIÓN Y LA INNOVACIÓN EN EL CASO DE LA QUINUA****Autores:**

Didier BAZILE <didier.bazile@cirad.fr>

MARCO CHEVARRIA-LAZO<sup>A</sup>, DIDIER BAZILE<sup>B\*</sup>, DOMINIQUE DESSAUW<sup>C</sup>, SELIM LOUAFI<sup>D</sup>, MICHEL TROMMETTER<sup>E</sup>, HENRI HOCDE<sup>F</sup>

<sup>A</sup> UNOPS – PNUMA; Av. De la Cultura H3, Cusco – Perú. Tel +51.945.18.54.20.

<sup>B</sup> UPR GREEN, CIRAD-ES; TA C-47/F; Campus International de Baillarguet; 34398 Montpellier Cedex 5 – Francia. Tel +33.4.67.59.38.53.

<sup>C</sup> CIRAD, DGDRS-VALO, TA 181/04; Avenue Agropolis; 34398 Montpellier Cedex 5, Francia. Tel +33.4.67.61.55.21.

<sup>D</sup> CIRAD-BIOS, UMR AGAP, TA A-108 / 03, Avenue Agropolis; 34398 Montpellier Cedex 5, Francia. Tel +33.4.67.61.57.22.

<sup>E</sup> UMR GAEL INRA UPMF, BP 47, 38040 Grenoble Cedex 9, Francia. Tel +33.4.76.82.78.03.

<sup>F</sup> CIRAD, UMR ARTDEV, Montpellier, Francia.

**Resumen:**

A propuesta de la FAO, la Asamblea General de la ONU declaró el 2013 “Año Internacional de la Quinua” resaltando el rol que podría tener la biodiversidad de la quinua para la seguridad alimentaria mundial, en virtud de sus altos valores nutritivos y su gran potencial de adaptación a diferentes condiciones agroclimáticas. La declaración reconoce el rol de las comunidades andinas en la creación de esta biodiversidad y la conservación de múltiples variedades locales de quinua. La expansión actual de su cultivo en otros continentes continuará en los próximos años aunada a la generalización de sistemas de derechos de propiedad intelectual sobre las variedades o los genes, tal situación hace urgente un reconocimiento efectivo del aporte de los pueblos andinos, así como, la implementación de instrumentos que permitan una distribución

justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos de la quinua y de los conocimientos tradicionales asociados. Estos son los aspectos que trata el presente capítulo.

Se identificaron cuatro metas principales: el reconocimiento de la identidad andina de los recursos genéticos de la quinua y de los conocimientos tradicionales vinculados a ésta; la conservación de los elementos constitutivos de la diversidad biológica y los ecosistemas; la utilización sostenible y eficaz de los recursos genéticos de la quinua que permitan promover la innovación; la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de éstos recursos y de los conocimientos tradicionales asociados.

Los marcos internacionales existentes no responden de manera satisfactoria a las cuestiones mencionadas. El CDB y el Protocolo de Nagoya

regulan el acceso y la distribución de beneficios de manera bilateral, mientras que los recursos genéticos de la quinua son transfronterizos y en parte se encuentran dispersos desde hace décadas fuera de la zona andina. El Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos útiles a la alimentación y a la agricultura – TIRFAA de la FAO – no considera los diferentes y numerosos usos no agrícolas y no alimentarios que se dan también en el caso de la quinua, (usos medicinales, cosméticos, etc.). La conservación *in situ* de las variedades de quinua y la distribución justa y equitativa de la utilización de sus recursos genéticos a las poblaciones andinas son igualmente una de las limitaciones del TIRFAA. Los derechos de propiedad intelectual incluso *sui generis*, entre otros, las patentes, los COV, las indicaciones geográficas o las marcas colectivas se concentran sobre una pequeña parte del problema, (la regulación del acceso), éstos son temporales, (duración y validez limitadas), y no son reconocidos por todos los países. Los derechos de propiedad intelectual – DPI no se interesan en la conservación de los recursos genéticos, por tanto se debe encontrar o crear soluciones alternativas. Los Sistemas Ingeniosos del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) y los paisajes bioculturales de la UNESCO toman en cuenta la conservación *in situ* para la protección de los sistemas agrarios que enriquecen la biodiversidad. Sin embargo, no están adaptados para abordar la conservación *ex situ* de la biodiversidad ni la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos. Incluso si el Sistema de Licencias Abiertas de Semillas (*Open Source Seed License* en inglés) parece interesante como marco regulatorio para múltiples actores comprometidos en las diferentes etapas de producción, selección, difusión y conservación; no cuenta con un marco legal que le permita proteger el material genético intercambiado y evitar casos delictivos. De otro lado, los parientes silvestres de los cultivos no están comprendidos por éstos sistemas que se interesan sobre todo en las variedades de las especies cultivadas.

Finalmente, se constata que no existe un marco legal único capaz de tratar simultáneamente y globalmente estos cuatro aspectos identificados. La evidencia de vacíos en cada uno de estos instrumentos debería permitir la generación de

propuestas para optimizarlos. Consecuentemente queda por construir colectivamente una solución que permita armonizar diferentes marcos legales existentes y/o inventar unos nuevos que los complementen. La rápida difusión de la quinua a nivel mundial ofrece una oportunidad a tomar en cuenta para reflexionar sobre las consecuencias de los instrumentos de regulación de los recursos genéticos actuales para mejorarlos e implementarlos nuevamente.

### Introducción.

En el presente, de las principales especies vegetales cultivadas, sólo el 12% de ellas cubre cerca del 75% de nuestra alimentación; entre ellas, el trigo, el arroz y el maíz brindan el 60% de las calorías que se consumen en el mundo (FAO, 2010).

Actualmente todos los países son cada vez más interdependientes para cubrir sus necesidades alimenticias y agrícolas. Hay que recordar que durante los últimos 10,000 años, desde el origen de la agricultura, las sociedades agrarias del mundo han creado y desarrollado recursos fitogenéticos agrícolas en cinco principales centros de origen: El medio oriente, por ejemplo en el caso de la cebada y el trigo; en el sur de Asia el arroz, en África el mijo y el sorgo; en América Central el maíz, así como, entre otros, la papa y la quinua en América del Sur (Bazile, 2012).

El camino de la domesticación de las plantas cultivadas a su expansión mundial actual ha sido largo, además de estar vinculado a diversos períodos de evoluciones de la agricultura (Bazile, Fuentes y Mujica, 2013). Los recursos genéticos de las plantas cultivadas fueron colectados, intercambiados localmente o en el transcurso de las migraciones humanas desde hace más de 10,000 años. Estas especies cubren ahora las más grandes superficies cultivadas del mundo, además de ser consideradas como los principales cultivos para la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial.

Los recursos genéticos de las principales especies cultivadas han sido y son objeto de los más grandes esfuerzos de mejoramiento vegetal asociado a procesos de conservación *ex situ*. En el caso de las otras especies alimenticias “secundarias”, la creación de la diversidad genética de las mismas se da a través de un proceso permanente en los campos de los agricultores que buscan continuamente a

introducir material genético nuevo para evitar las bajas de productividad y la degeneración de sus variedades locales.

Para garantizar esta dinámica evolutiva, la difusión de los recursos genéticos de las plantas, (recursos fitogenéticos), se basaron en principios de libre acceso y distribución. Es reciente el hecho que en virtud del avance biotecnológico, los derechos de propiedad intelectual, (principalmente las patentes), se amplían a los recursos genéticos de los seres vivos basándose en principios de apropiación y exclusividad. Por tanto éstos definen las normas que regulan la circulación de las variedades mejoradas producidas tanto por los obtentores privados y públicos de nuevas variedades vegetales (Bazile, 2011).

En este contexto resalta el caso de la quinua, de ser un cultivo localizado en los países andinos, está en proceso de expansión a numerosos países sobre todos los continentes con un potencial para convertirse en un cultivo principal de la agricultura mundial (Galwey, 1993; Jacobsen, 2003; NRC, 1989). La rápida expansión de sus áreas de cultivo a nivel mundial ha motivado a la FAO a declarar el presente año 2013, como “Año Internacional de la Quinua”. No es habitual que un cultivo que tiene aún un estatus regional obtenga tal reconocimiento mundial, por lo que tal situación merece ser destacada.

Este cambio evidente del estatus de esta especie domesticada en las orillas del lago Titicaca puede servir de modelo para interrogar y analizar los marcos legales actuales de regulación sobre los recursos genéticos.

De hecho, en la clasificación de los principales cultivos alimenticios del mundo, la papa, (*Solanum tuberosum* sp), se ubica en cuarto lugar. El centro de origen de la papa se ubica, como en el caso de la quinua, en la cordillera de los Andes, como también en la cuenca del lago Titicaca, donde su cultivo habría empezado hace más de 8,000 años.

Es a partir de una numerosa población silvestre que los agricultores andinos llegaron a seleccionar y a mejorar los primeros especímenes que dieron lugar, después de milenios, a la gran diversidad de especies y variedades de papa que se conocen en el presente.

La diversidad genética de la especie *Solanum tuberosum*, está dividida en dos sub-especies: La primera «*andigena*» adaptada a un fotoperiodo de 12 horas de luz solar, es cultivada principalmente en la región andina, y la segunda «*tuberosum*» que se cultiva en el mundo entero. Esta última subespecie proviene ciertamente de una antigua introducción de «*andigena*» en el continente europeo; la misma que fue progresivamente adaptada a los ciclos diarios del hemisferio norte con una duración más larga de los días.

Hoy en día aproximadamente 5000 variedades locales de papa son cultivadas en los Andes. Las nuevas variedades de papa son sobretodo cultivadas en Asia y Europa, las mismas que proveen en el presente más del 80% de la producción mundial (Alary *et al*, 2009). Los europeos son considerados los primeros consumidores mundiales de papa con 85 kilogramos por habitante en 2009 (FAOSTAT).

El ejemplo del proceso de difusión mundial de la papa, si bien corresponde a otra época, podría de cierta manera dar luces sobre el camino del proceso actual de difusión de la quinua en el mundo. Tener en cuenta esta experiencia podría permitir tomarla de referencia para cuestionar los actuales marcos legales de regulación y analizar si la tendencia de estos procesos se repetirán o no. Esta conciencia histórica ofrece la oportunidad de ver cómo se pueden implementar nuevos marcos legales de regulación sobre los recursos genéticos (Trommetter, 2001, 2012).

Actualmente, los países industrializados - de agricultura industrial - son los que cuentan con la mayoría de los derechos de propiedad intelectual o protección legal sobre las nuevas obtenciones vegetales o variedades llamadas mejoradas. Esta asimetría con los países en vías de desarrollo se explica, entre otros, en razón de las diferencias de capacidad de investigación y de acceso a las nuevas biotecnologías para el mejoramiento de las plantas. Los países de la Unión Europea disponen de más de 1,600 variedades de papa inscritas en el catálogo europeo y 16,481 certificados de obtención vegetal – COV depositados en la Unión internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales – UPOV. Actualmente, a nivel mundial, ya existen 20 COV depositados sobre nuevas variedades de quinua, de las cuales 16 fueron obtenidas en Dinamarca y Holanda.



Introducida por los españoles en Europa en el siglo XVI, la papa se expandió a partir de algunos tubérculos para convertirse, desde el siglo XVIII en un alimento esencial de los países de Europa del Norte. Lamentablemente el monocultivo de algunas pocas variedades de papa originó la aparición del mildiu en las cosechas, situación que condujo a la gran hambruna del siglo XIX, (1846 – 1851), produciendo una pérdida del 25% de la población irlandesa en 10 años.

Incluso hoy, los esquemas de difusión de las nuevas obtenciones vegetales o variedades llamadas mejoradas, reposan sobre una base genética reducida, (para respetar la homogeneidad, uno de los criterios necesarios para la protección a través de un COV o para registrarlos en un catálogo de variedades vegetales). Esta situación genera riesgos importantes para hacer frente a potenciales enfermedades, epidemias y la proliferación de animales dañinos. Estos riesgos son aún más elevados por el hecho de que todas las variedades mejoradas provienen de un número reducido de padres, como fue el caso de la papa al momento de su introducción y cultivo en Irlanda.

El desarrollo continuo de la agroindustria de la papa en el siglo XXI permite apreciar la aceleración de las dinámicas de “mejoramiento y protección legal de las nuevas variedades” vinculadas a este sector, las mismas que sin duda se aplicaran también en el corto plazo a la quinua. Más allá de los derechos de propiedad intelectual sobre los recursos genéticos, la reflexión debe extenderse a los modelos agrícolas a los cuales se aplican: a la agricultura industrial convencional versus la agricultura familiar; planteándose también preguntas más amplias sobre los recursos genéticos vinculado a otros criterios, tales como, la identidad, la equidad, la conservación *in situ* y la innovación de nuevas variedades vegetales.

Los promotores de la declaración del año 2013 como el “Año Internacional de la Quinua” como la FAO entre otros, esperan una ampliación mundial de sus áreas de cultivo, con un aumento inmediato de la demanda de semillas por otros países, para promover procesos de experimentación genética y/o mejoramiento varietal sobre la quinua. La celebración del “Año Internacional de la Quinua” brinda la oportunidad de aferrarse a ese “haz de luz proyectado” sobre el cultivo para reflexionar

sobre otros marcos legales “alternativos”, sin que necesariamente se enmarquen en la vía clásica convencional de los derechos de propiedad intelectual e industrial. El caso de la quinua permite apreciar el caso de un recurso genético transfronterizo cuyos usos recientemente se han extendido más allá del sector agrícola y alimenticio. Hasta entonces, el marco legal de los países industrializados dominaba a nivel internacional, imponiéndose y superponiéndose para impulsar marcos legales alternativos. La dispersión mundial de los recursos genéticos, antes de la firma del Convenio de Diversidad Biológica, (Rio de Janeiro, 1992), teóricamente hace inoperante la propuesta de la CDB sobre un marco bilateral de negociación de los recursos genéticos con los países soberanos sobre la biodiversidad presente en su territorio. En este contexto se debería analizar alternativas de articulación transfronteriza evaluando y preguntándose si los niveles regional y/o internacionales de negociación facilitarían o bloquearían estos procesos en relación a los aspectos o situaciones en juego definidos.

### **La Quinua: aspectos a considerar que van más allá de la agricultura y la alimentación.**

*El Año Internacional de la Quinua: un nuevo aliento para su expansión mundial.*

En julio del 2011, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el 2013, el “Año Internacional de la Quinua” en virtud de la propuesta presentada en Roma a la FAO por el Estado plurinacional de Bolivia; de esta manera se reconoce el rol que puede jugar esta planta en la seguridad alimentaria mundial. Según la Resolución 15/2011 de la FAO, aprobada durante la Asamblea General de las Naciones Unidas en Nueva York en diciembre 2011, la declaración del año internacional resalta la calidad de la quinua como alimento natural con un alto valor nutricional y la importancia del rol de los pueblos andinos en la creación y la conservación de la biodiversidad de quinua, como también resalta la importancia de los conocimientos tradicionales y las prácticas agrícolas respetuosas de la naturaleza que ellos han sabido conservar.

Partiendo de esta constatación, la declaración del año internacional afirma la necesidad de focalizar durante el año 2013 la atención mundial sobre el

rol que puede jugar la diversidad genética de la quinua en la seguridad alimentaria mundial, en la erradicación de la extrema pobreza y el hambre coadyuvando a la concretización de los Objetivos de Desarrollo del Milenio – ODM (PROINPA, 2011).

En el presente a nivel mundial, si bien dos países andinos, Bolivia y Perú, son los principales productores de quinua, el cultivo ha comenzado a extenderse sobre todos los continentes desde los años 80', (Ref. Capítulo 1.5) (Giuliani *et al.*, 2012). En ésta década, los Estados Unidos de Norteamérica – Estados Unidos introdujeron inicialmente este cultivo en el Sur de Colorado para luego extenderlo a otros estados. Hoy día Canadá cultiva quinua en las llanuras de Saskatchewan y de Ontario, produciendo, según las estimaciones cerca del 10% de la producción mundial de quinua, sin duda más que el Ecuador, considerado hasta entonces como el tercer país productor a nivel mundial.

En los años 90' la FAO – RLC (Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe) definió como una de sus prioridades institucionales el intercambio de recursos fitogenéticos de diversas especies alimenticias andinas “sub-utilizadas” consideradas aptas para producir en diferentes pisos ecológicos de América del Norte y Europa. En ese contexto, la promoción, el intercambio y la difusión de material fitogenético de la quinua tomó la forma de un experimento conocido con el nombre de “*Prueba Americana y Europea de la Quinua*”; experimento en el que numerosos países del mundo participaron a través de redes de investigación que incluían a institutos de investigación nacionales y diversas universidades (Mujica *et al.*, 2001).

En Europa la quinua se cultiva sobre todo en Inglaterra, Suecia, Dinamarca, Holanda, Italia y Francia. En Asia, se cultiva en la región de los Himalayas, en las llanuras del norte de la India y de Pakistán donde la quinua tiene rendimientos considerados prometedores. En Brasil, en la llanura amazónica, su cultivo es experimental como planta de cobertura. En África, específicamente en Kenia igualmente se cultiva de manera experimental desde hace muchos años y más recientemente en Mali, donde la planta ha sido introducida para reducir el hambre y la pobreza en el continente.

El boom de la quinua de los años 90'y el nuevo impulso de la FAO están generando un

proceso continuo de expansión de este cultivo, particularmente sobre toda la región mediterránea. La multiplicidad de intercambios y la diversidad de usos de la quinua hacen que la implementación de normas que regulen la circulación de sus recursos genéticos sea compleja para esta planta que dispone de una gran plasticidad y rusticidad ecológica (Ruiz *et al.*, 2013).

#### *Una planta biodiversa con una alta capacidad de adaptación.*

La quinua, (*Chenopodium quinoa* Willd.), es una planta anual originaria de los Andes en América del Sur, su domesticación se estima comenzó hace aproximadamente 7000 años con la selección progresiva de características sobre los individuos de una generación a la otra, tanto por criterios vinculados a las prácticas del cultivo como por su cualidades organolépticas de consumo en una diversidad de pueblos que ocupaban territorios distintos (Mujica, 2004). Este largo proceso de selección y mejoramiento de generación en generación ha conducido a una multitud de variedades locales donde la dehiscencia fue suprimida y el aumento de tamaño de los granos y la adaptación a las condiciones medioambientales locales fueron privilegiadas (Bazile, Fuentes y Mujica, 2013).

A pesar del proceso de uniformización con la pérdida de alelos durante la selección mencionada, aún hoy en día, la quinua cultivada presenta un amplio abanico de colores sobre las diferentes partes de la planta, y en los granos, presenta diferencias entre tipos de ramificación y de forma de las panículas, así como diferencias a nivel de la productividad, de la tolerancia al estrés abiótico (sequía, salinidad), y de resistencia a enfermedades, (Fuentes y Bhargava, 2011; Ruiz-Carrasco *et al.*, 2011).

La diversidad de la quinua en el continente suramericano está asociada a cinco grandes ecotipos, (Bazile, Fuentes & Mujica, 2013): Quinua del Altiplano, (Perú y Bolivia); Quinua de los valles inter-andinos, (Perú, Ecuador, Colombia); Quinua de los Salares, (Bolivia, Chile, Argentina); Quinua de los Yungas, (Bolivia) y Quinua del nivel del mar, (Chile). Todos estos ecotipos provienen de una misma región de domesticación primaria situada alrededor del lago Titicaca; así como, cada uno de ellos puede estar asociado a un sub centro de

diversidad, (Risi y Galwey, 1984; Fuentes, Bazile et al., 2012).

Numerosas generaciones de agricultores han participado en ese largo proceso de selección de la quinua, lo cual explica su gran diversidad genética actual que le permite adaptarse a numerosos ambientes ecológicos, (altiplanicies, valles, montañas, zonas salinas, etc.). Su amplia diversidad genética le permite adaptarse a diversos tipos de suelo, sobre todo los suelos salinos y a lugares que tienen largas gradientes de humedad, (de 40 a 90%), de altitud, (de 0 a 4800m) y de temperatura, (de - 8 °C a 38 °C). Esta capacidad de adaptación constituye una ventaja en el contexto actual de cambio climático y de salinización de las tierras agrícolas.

La rusticidad de la quinua para soportar intensas amenazas bióticas y abióticas, sumada a su fuerte plasticidad ecológica han determinado su gran potencial agrícola para el desarrollo del cultivo en otras regiones del mundo, sobre todo, en el contexto actual en el que se hace necesario promover medidas de adaptación al cambio climático. La gran biodiversidad de la quinua, le confiere capacidades de adaptación y resistencia, permitiendo la posibilidad de cultivarla en modelos agro-ecológicos que requieren muy bajos niveles de insumos, situación que además coincide con las exigencias sanitarias para su utilización alimenticia, cosmética y medicinal. Aunque en el presente, la quinua es sobretodo reconocida por su interés nutricional en la alimentación humana, por la presencia de proteínas, (todos los aminoácidos esenciales), minerales, vitaminas, ácido linoleico, (omega-3), amilasas y no contiene gluten, la quinua es utilizada también en la agricultura para la alimentación animal, como planta de cobertura o cultivo intercalado para bloquear el ciclo de ciertos parásitos. Los usos de la quinua como detergente, en cosmética y en medicina son menos conocidos, no obstante es esencial considerar todos sus usos puesto que se busca implementar un marco legal de regulación sobre la circulación, intercambio y acceso a los recursos genéticos de la quinua a escala mundial (Ref. Capítulos 3.4 y 3.5 del presente libro).

#### *Sistemas agrícolas con diversidad de marcos legales.*

La producción de quinua estuvo mucho tiempo a cargo de las poblaciones andinas. De hecho, a

la llegada de los españoles, uno de los medios de sumisión de los pueblos andinos consistió en imponer un régimen alimenticio a base de cereales, es así que la quinua fue desplazada, desvalorizada y su producción quedó confinada a las comunidades campesinas andinas; el caso de los Mapuche al sur de Chile (Thomet *et al.*, 2010) y de las comunidades andinas peruanas son un buen ejemplo.

Hasta un periodo reciente, la quinua estuvo considerada únicamente como un alimento de los pueblos andinos, antes de ser mundialmente reconocida en la década de los 70', especialmente por los vegetarianos, en virtud de sus características dietéticas. Mucho tiempo fue clasificada como un cultivo de subsistencia, situación que explica la conservación de una diversidad de prácticas agrícolas tradicionales de las comunidades andinas, en razón de no poder integrarlas en un modelo de agricultura convencional. Este modelo agroecológico es el que se impone también como el más idóneo en un medio ambiente frágil sometido a fuertes limitaciones abióticas.

En los países andinos, la mayor superficie cultivada de quinua es realizada utilizando variedades tradicionales o llamadas también campesinas. La gestión agrícola de estas variedades por los campesinos andinos se centra en grupos de variedades compuestas por poblaciones vegetales heterogéneas; situación que les permite estratégicamente hacer frente a los diferentes riesgos bióticos y abióticos alternando diferentes individuos de una población, (o variedad campesina), cultivada anualmente. La autoproducción de semillas aunada a la selección en campo de los individuos más resistentes para la próxima generación, (semillas para el año siguiente), permite una gestión dinámica de la biodiversidad de la quinua capaz de hacer frente a los diferentes aleas y adaptarse a los cambios medioambientales, económicos, sociales y políticos.

La gestión tradicional campesina del pool de recursos genéticos de la quinua contribuye a la adaptación dinámica de las variedades de quinua, las mismas que evolucionan de modo permanente en correlación con sus ecosistemas. Teniendo en cuenta estas características del cultivo de la quinua, la co-evolución de las variedades y sus medios pueden también integrar ciertos resultados de cruzamientos con los parientes silvestres de la

quinua que crecen cerca de las parcelas cultivadas. Las redes de intercambios tradicionales de semillas o “camino de las semillas” y las redes de saberes asociados a las variedades han permitido igualmente construir y mantener procesos de innovación campesina, tal como hoy se puede apreciar en la gran diversidad genética de la quinua (Aleman, 2009; Fuentes *et al*, 2012; Thomet *et al*, 2010).

El boom de la demanda mundial de quinua en los años 90’ provocó el surgimiento de un modelo agrícola intensivo y la utilización de solo algunas variedades, digamos mejoradas. La investigación sobre las variedades basculó en la esfera de la investigación agronómica, (privada y/o pública), para el desarrollo de líneas puras, de híbridos, etc., todas éstas variedades con una base genética cada vez más estrecha. Hasta entonces el mejoramiento de las variedades de quinua se basaba en tres técnicas: la selección masal clásica; el cruzamiento controlado entre genotipos y el desarrollo de híbridos comerciales. Las investigaciones desarrolladas en los países andinos principalmente tenían como objetivo el aumento de los rendimientos y de la resistencia a enfermedades, a éstos procesos se irán sumando progresivamente la adaptación al fotoperiodo, (latitud), a la temperatura y a la altitud de los países que no están en la zona andina.

Si bien los diferentes países firman acuerdos internacionales, la transposición de estos textos en las legislaciones nacionales difiere de un país a otro en relación a la política agrícola que fue implementada anteriormente. Pese a ello, en los países andinos la investigación agronómica sigue siendo pública, en tal virtud las nuevas variedades obtenidas no son objeto de derechos de propiedad intelectual al momento de incorporarlas al mercado; salvo un caso en Chile hace la diferencia, en el que la variedad de quinua “Regalona”, fruto de la investigación privada, (Semillas Von Baer), ha sido objeto de protección por un COV para proteger los derechos del obtentor privado.

La utilización de la biotecnología actual en el mejoramiento vegetal a través de la selección asistida, mediante la utilización de marcadores moleculares o de genes de interés, (resistencias, compuestos químicos, nutrimentos, etc.), corre el riesgo de modificar el desarrollo y los marcos legales de regulación/protección de las futuras variedades

de quinua. El uso de los genes de los parientes silvestres de la quinua, (por ejemplo, provenientes de *Chenopodium hircinum* o de *Chenopodium album*), es considerado igualmente como el paso siguiente para crear nuevas variedades que se integren a las estrategias de adaptación al cambio climático, (tolerancia a la sequía y a la salinidad de los suelos).

Diferentes variedades de quinua han sido puestas “a punto” en los últimos 40 años en el Perú, Bolivia, Chile, Argentina, como también en los Estados Unidos, Brasil, Dinamarca, el Reino Unido, Holanda, India, etc. Todas estas variedades provienen del mismo pool inicial de recursos genéticos de quinua vinculados a la domesticación de la especie en los Andes, lo que les confiere un estatuto de recursos transfronterizos puesto que el área de origen de la especie domesticada cubre varios países que comparten éstos recursos genéticos. Es notable constatar que la circulación de los recursos genéticos de quinua empezó mucho antes de la firma del Convenio de Diversidad Biológica, (Río, 1992); convenio que establece principios y normas de circulación de los recursos genéticos en general reconociendo la soberanía de los Estados sobre su biodiversidad. Las colecciones del germoplasma de la quinua están en el presente dispersas en el mundo, (Ref. Capítulo 1.6.); si bien las más grandes colecciones corresponden a los países andinos, (Bolivia, Perú, Argentina, Ecuador, Chile y Colombia), más de una veintena de países repartidos en el mundo entero conservan recursos genéticos de quinua en sus bancos de semillas *ex situ*, entre ellos: África del Sur, Alemania, Australia, Austria, Brasil, Canadá, Eslovaquia, España, Estados Unidos, Etiopía, Hungría, India, Japón, Kenia, Portugal, República Checa, Reino Unido, Suecia, Turquía, Uruguay, entre otros, que comparten información con los sistemas internacionales como el de la FAO.

Después del Convenio de Diversidad Biológica – CDB, (Río-92), se generaron marcos legales mucho más exigentes para el acceso a los recursos genéticos a través de contratos bilaterales, así como, de acuerdos de transferencia de materiales, (ATM), con el objetivo principal de asegurar la trazabilidad de los recursos genéticos y definir los derechos y deberes de cada parte en el intercambio. El seguimiento de las investigaciones para la adaptación de la quinua en otros contextos de



cultivo fuera de los Andes, como el mejoramiento de las variedades propiamente dicho en curso de realización dentro de los futuros países productores de quinua y la multiplicación de semillas, interpelan con numerosas preguntas sobre los marcos legales y las regulaciones de la circulación de los recursos genéticos de la quinua y el reconocimiento de los pueblos andinos que se encuentran en los procesos anteriores a éstos procesos de innovación; el objetivo es evitar casos de apropiación y de limitación del acceso a los recursos genéticos de la quinua como fue el caso en el pasado de la patente depositada, (luego abandonada en razón de la fuerte presión internacional), por la Universidad de Colorado sobre la esterilidad masculina de la quinua descubierta en las poblaciones de quinua andinas conservadas en los Estados Unidos y conocida con el nombre de «Apelawa».

Estas investigaciones sobre el mejoramiento de las variedades de la quinua son la cara visible de su utilización dentro del dominio agrícola y alimenticio, sin embargo, existen investigaciones importantes sobre los subproductos de la quinua dentro de los programas de lucha contra el cáncer, la obesidad, la diabetes, o de valorizaciones diversas de saponinas, etc.

*Los múltiples aspectos a considerar para la gestión de los recursos genéticos.*

Desde hace más de cinco siglos las variedades de papa son parte de las estrategias de seguridad alimentaria de numerosos países, fuera de su centro de domesticación en los Andes; gracias a la difusión planetaria del material vegetal domesticado y seleccionado por los pueblos andinos durante milenios. Resalta en este proceso el hecho que los pueblos andinos no han recibido ningún beneficio o reconocimiento significativo por haber compartido este material mejorado, el mismo que fue difundido desde el siglo XVI en todo el mundo; incluso pese al aporte de nuevas especies introducidas en los países andinos, las que no han brindado ventajas comparativas para las poblaciones locales.

En relación a la Quinua, actualmente se aprecia una fuerte demanda que ha generado un boom en su consumo, principalmente en los países industrializados, (algunos de los cuales son nuevos productores de quinua), situación que está provocando cambios en los sistemas agrícolas

andinos. A diferencia de lo que pasó hace algunos siglos con la papa, actualmente las poblaciones andinas son actores activos en la defensa del reconocimiento de sus aportes en el mejoramiento de las variedades de quinua y la conservación de sus recursos genéticos, queriendo igualmente ser actores reconocidos en el comercio mundial.

Los tratados internacionales reconocen la soberanía de los Estados sobre sus recursos genéticos y el aporte de las comunidades autóctonas a su conservación, así como, establecen principios para promover una distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de estos recursos genéticos puestos a disposición de todos los países del mundo. Actualmente, los promotores de la difusión del cultivo de la quinua apoyan campañas de experimentación agronómica en un gran número de países fuera de la zona andina; en este contexto es urgente preocuparse para analizar el como esos programas de difusión implementados pueden permitir un retorno, (es decir una distribución justa y equitativa de la utilización de los recursos genéticos de la quinua), hacia los Estados y las comunidades andinas en el marco del respeto de los acuerdos internacionales firmados, (CDB/Nagoya, TIRFAA), incluyendo en este análisis a los sistemas de protección jurídica en vigor, (patentes, COV).

La declaración oficial del “2013 - Año Internacional de la Quinua” por la ONU – FAO resalta e insiste sobre el reconocimiento del rol de los pueblos andinos en la creación y la conservación de la biodiversidad de la quinua. En este contexto, teniendo en cuenta la actual promoción mundial de la quinua, es urgente hacerse algunas preguntas: ¿Sí esta promoción permitirá, al mismo tiempo, asegurar a los pueblos andinos una distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos de la quinua?, ¿Cómo conservar *in situ* y *ex situ* los recursos genéticos de la quinua?, ¿Qué mecanismos instaurar para intercambiar los recursos genéticos de la quinua con otros en una relación de equidad?, ¿Cómo tales intercambios pueden contribuir al reconocimiento de las poblaciones andinas y a sus procesos de conservación de los recursos genéticos de la quinua?, ¿Cómo esos marcos legales de regulación desarrollan una visión estática de los recursos genéticos o permiten enriquecer ese patrimonio genético?

Las cuestiones en juego vinculadas a los marcos jurídicos que regulan la circulación de los recursos genéticos de la quinua son numerosas y variadas; éstas obligan a cuestionar a cada uno de los sistemas de regulación existentes para comprender lo que estos aportan al caso preciso de los recursos genéticos de la quinua en términos de su conservación, (*in/ex situ*), de identidad de las comunidades andinas, (reconocimiento cultural), y de la posible movilización de éstos recursos

genéticos, (intercambio, innovación, formal/informal). El siguiente cuadro 1 presenta una propuesta de caracterización de las diferentes metas que sirven de hilo conductor para analizar, a lo largo de este capítulo, las ventajas y las desventajas de los sistemas legales de regulación existentes que se aplican actualmente y que otros marcos de regulación podrían esbozarse para suplir los vacíos de estos.

**Cuadro 1:** Caracterización de los aspectos asociados a la gestión de los recursos fitogenéticos.

<b>Identidad</b>	<p>Reconocimiento de los modos de vida tradicionales que tengan un interés para la conservación de la biodiversidad y la utilización sostenible de los recursos genéticos de la misma.</p> <p>Respeto, conservación y mantenimiento de los conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades autóctonas y locales.</p>
<b>Conservación</b>	<p>Conservación <i>ex situ</i>: Conservación de los elementos constitutivos de la diversidad biológica fuera de su medio natural.</p> <p>Conservación <i>in situ</i>: Conservación de los ecosistemas y de los hábitat naturales, mantenimiento y reconstitución de las poblaciones viables de especies en su medio natural y en el caso de las especies domesticadas y cultivadas en el medio donde se han desarrollado sus características distintivas.</p>
<b>Mobilización Utilización sostenible</b>	<p>Facilitación del intercambio de recursos genéticos.</p> <p>Favorecer diferentes formas de innovación y de sinergias entre los sistemas formales y tradicionales de utilización y de valorización de los recursos genéticos.</p> <p>Favorecer una dinámica evolutiva de los recursos genéticos para el incremento de las capacidades de adaptación para hacer frente a los cambios globales, (resiliencia).</p>
<b>Equidad</b>	<p>Elaboración de reglas equitativas de acceso a los recursos genéticos.</p> <p>Elaboración de condiciones equitativas de distribución de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos a nivel de países y actores.</p> <p>Incremento de las capacidades, del intercambio de información y del acceso a tecnologías para la utilización equitativa de los recursos genéticos entre los países y actores con capacidades diferentes.</p>

## ¿Los marcos legales están adaptados a los diversos aspectos vinculados a la gestión de los recursos genéticos de la quinua?

En razón de la preocupación mundial por el hecho del empobrecimiento considerable de la diversidad biológica debido a ciertas actividades humanas, un marco de regulación internacional fue implementado para asegurar la gestión y utilización sostenible de los recursos biológicos.

El Convenio de Diversidad Biológica, (CDB), adoptado en el marco de la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro de 1992, (<http://www.cbd.int/>) reconoce que los Estados son soberanos y responsables de la conservación de su diversidad biológica y de la utilización sostenible de sus recursos biológicos. En tal virtud, los países deben establecer estrategias nacionales de conservación de su diversidad biológica, las mismas que deberían servir igualmente de marco para las relaciones bilaterales relativas a los recursos biológicos que poseen.

Se entiende por recursos genéticos en el seno de los recursos biológicos, al material genético que tiene un valor real o potencial para la humanidad. La mayoría de los recursos genéticos agrícolas, entre ellos los recursos genéticos de la quinua, están regidos principalmente por el CDB; de manera especial el Tratado Internacional sobre los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura de la FAO, (TIRFAA/FAO 2001, <http://www.planttreaty.org/es>), rige sobre los recursos genéticos de los principales cultivos alimenticios que están inscritos en el anexo I del TIRFAA, entre otros, a través de la instauración del Sistema Multilateral de Acceso y Distribución de beneficios - SMAD, el mismo que es tratado en la parte 3 del presente documento.

### *Los principios de Distribución Justa y Equitativa de Beneficios propuestos por el CDB.*

Las prácticas de acceso y de intercambio de recursos genéticos están reguladas, entre otros, a través de acuerdos de distribución de beneficios derivados de compromisos contractuales bilaterales de derecho privado entre un proveedor y un solicitante.

Esta solución se fundamenta en la teoría coasiana de las externalidades, (Coase, 1974): Puesto que el mercado no otorga un valor a la diversidad para los individuos y la sociedad, además, paralelamente,

ninguna persona puede ser fácilmente excluida de su utilización, (consecuentemente no hay ninguna incitación para que un individuo asuma los gastos de acceder a esta diversidad), una negociación sobre el otorgamiento de derechos de propiedad sobre la diversidad entre las partes privadas, vía el establecimiento de un contrato es percibida como un medio eficaz de reflejar el valor de la diversidad genética, estableciendo además incitaciones monetarias directas o indirectas vinculadas a una distribución de los beneficios derivados de su utilización.

No obstante, la fuerte incertidumbre sobre el valor al momento del acceso a los recursos genéticos, asociada a la ausencia de seguridad jurídica en caso de abandono de una de las partes, ha conducido a ir más allá de las propuestas contractuales *stricto sensu*, enmarcando esos contratos por un conjunto más amplio de acuerdos o mecanismos legales con el objetivo de limitar los comportamientos oportunistas, (Dedeurwaerdere, 2004). Esos contratos son regulados por las legislaciones nacionales revistiendo diversas formas, desde contratos tipo; mecanismos de seguimiento y de respeto de las obligaciones contractuales, (tales como la divulgación del origen de los recursos genéticos o la certificación de origen de los mismos); la obtención del consentimiento fundado y previo de las poblaciones locales autóctonas involucradas, así como, el reconocimiento del derecho soberano de los Estados sobre los recursos genéticos. Las cláusulas al interior de estos contratos no deben ser contrarias a las leyes nacionales, la sola presencia de una cláusula ilegal puede implicar la cancelación del contrato en todos sus extremos.

No obstante, según lo afirman Dedeurwaerdere, Goëschl y Swanson, quedaría demostrado que la sola aproximación contractual para el acceso y la distribución de beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos es suficiente para llegar a los objetivos esperados a nivel social, (equidad), y medioambiental, (conservación y uso sostenible), (Dedeurwaerdere, 2004; Goëschl y Swanson, 2002). Afirman que las reglamentaciones públicas de tipo jurídico, (jerárquicas), así como, que las incitaciones monetarias implementadas en esos contratos no permiten tomar en cuenta la diversidad y complejidad de las motivaciones existentes en los actores vinculados directa

e indirectamente en los intercambios de recursos genéticos, pues son situaciones que sobrepasan, en la mayoría de los casos, las meras motivaciones monetarias. Esas reglamentaciones no responderían a las necesidades del conjunto de las comunidades locales concernidas y quedan de hecho limitadas a reglamentar la actuación de una cierta categoría de utilizadores y de usos sensibles a las incitaciones monetarias. Los intercambios de recursos genéticos obedecen de hecho a un conjunto más complejo de motivaciones, entre ellas por ejemplo a motivaciones sociales, (objetivos públicos globales tales como el incremento del conocimiento, conservar la biodiversidad o luchar contra el hambre), o, de manera más prosaica, a motivaciones sociales no monetarias, (reputación, reciprocidad). De hecho se puede mostrar que la búsqueda de notoriedad, (en virtud de la calidad del material, las informaciones intercambiadas o las publicaciones), y/o de reciprocidad, (intercambio de información entre los actores), están entre las principales motivaciones vinculadas a la conservación y el intercambio de los recursos genéticos, (Dedeurwaerdere *et al.*, 2012).

Es más, aunque suponiendo que las motivaciones económicas funcionen correctamente, ellas no permitirán jamás generar inversiones en cantidad suficiente para mantener e intercambiar los recursos genéticos porque una gran parte de ellas quedan y quedaran durante mucho tiempo de valor desconocido.

Finalmente, en ciertos casos, basarse en las incitaciones monetarias para cubrir todos los tipos de intercambios de recursos genéticos puede revelarse contra productivo: La introducción de valores de mercado puede inducir a una débil incitación a contribuir al esfuerzo colectivo de conservación de los recursos genéticos en el seno de las comunidades locales generando desconfianza y sospecha del hecho de la introducción de esta lógica monetaria en aquellos lugares donde ésta no existe, (efecto *crowding-out*, descrito por Frey y Jegen, 2001). En otros términos, el surgimiento de un contrato puede minar las prácticas cooperativas o comunales necesarias a la conservación de los recursos genéticos.

Es evidente que el conjunto de los problemas mencionados se presentan aun con mayor intensidad

en el caso de los recursos fitogenéticos útiles a la alimentación y la agricultura, entre ellos los recursos fitogenéticos de la quinua. Tomando como marco de análisis las cuatro metas en juego mencionadas anteriormente, en relación a la identidad, el artículo 8j del CDB enuncia el reconocimiento de las comunidades locales y sus prácticas sostenibles de gestión de los recursos biológicos. No obstante, en este tratado internacional la cuestión identitaria es responsabilidad de los Estados, los mismos que son reconocidos soberanos sobre sus recursos genéticos. En el caso de la quinua, las políticas desarrolladas serán entonces dependientes del prisma nacional que reconocerá o no a los grupos locales en la gestión de éstos recursos genéticos, (la cuestión identitaria local está vinculada a las culturas Aymara, Quechua, Mapuche, etc.), pudiendo vincularlas igualmente con otros debates no relacionados con la gestión de los recursos genéticos. De ser el caso, tal situación conduciría necesariamente a dificultades para la implementación efectiva de la CDB.

Tratándose de los desafíos para la conservación, el texto del CDB se aplica a todos los recursos genéticos sin excepción. Inicialmente considerados como una ventaja particular, las especificidades de los recursos genéticos agrícolas / recursos fitogenéticos útiles a la alimentación y la agricultura no fueron tomadas en cuenta. Una de las principales críticas al CDB, (incluyendo al protocolo de Nagoya), es justamente el hecho que las propuestas de acceso y distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos no permiten realmente promover la conservación; ésta debe ser parte o derivarse de las estrategias nacionales. No obstante se aprecia a menudo que la situación de los recursos fitogenéticos útiles a la alimentación y a la agricultura es secundaria en las estrategias nacionales que se aplican sobre todo a los recursos genéticos de la biodiversidad llamada salvaje.

Los retos vinculados a la innovación sobre los recursos genéticos hacen aún más difícil la implementación de las estrategias nacionales. Se puede considerar, sin embargo, que el marco del CDB permite un mejor control del acceso a los recursos genéticos de la quinua, puesto que además se encontraría consolidado por la implementación de estrategias nacionales y el rol de las autoridades nacionales encargadas de los



procesos de acceso y trazabilidad de los recursos genéticos. En este contexto, los derechos y deberes de las partes son explicitados de mejor manera, el acceso a los resultados que se obtengan sería mejor. En contraparte, en las propuestas de relaciones bilaterales contractuales entre los Estados, el país proveedor podría fácilmente bloquear el acceso a sus recursos genéticos y prohibir de hecho toda posibilidad de innovación. En el caso de los procesos de investigación para el mejoramiento u obtención de nuevas variedades vegetales, los intercambios de recursos genéticos son y deben ser recurrentes, por lo que los marcos contractuales bilaterales para el acceso a estos recursos genéticos podrían ser engorrosos generando además costos de transacción muy elevados.

En este contexto, la naturaleza incremental del proceso de obtención de una nueva variedad vegetal mencionado haría particularmente difícil la posibilidad de seguir una lógica bilateral, tanto para el acceso como para la distribución de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos, aún más en razón de que ciertos países no son parte del CDB como por ejemplo, Estados Unidos. En el caso de los recursos genéticos de la quinua se constata que éstos han circulado entre actores y países mucho antes de la entrada en vigor del CDB, actualmente existen colecciones de recursos genéticos de quinua en diferentes lugares del mundo. Desde un punto de vista estrictamente jurídico, procesos de intercambio de éstos recursos genéticos, (obtenidos antes del CDB, 1992), podrían realizarse legalmente, sin implicar en éstos intercambios a los países de origen de las zonas de domesticación de la quinua.

En este contexto, la utilización de los recursos fitogenéticos útiles a la agricultura y a la alimentación puede conducir a obtener un número relativamente alto de productos, (no necesariamente todos comercializables de ser el caso), entre ellos, muchos serían elaborados o desarrollados con la contribución de múltiples recursos genéticos. Cada recurso genético tomado individualmente puede contribuir en diversos niveles y en diferentes momentos al producto final; hacer el seguimiento de la contribución de cada recurso genético tomado separadamente y determinar los beneficios a distribuir sobre una base de su aporte individual, sobre la base de términos y condiciones

especificadas bilateralmente y contractualmente para cada recurso genético puede revelarse una tarea extremadamente complicada.

Pese a los diferentes límites identificados, el marco legal establecido por el CDB actualmente es obligatorio, para los procesos de prospección y colecta de nuevos recursos genéticos de quinua, de esta manera se limitan los posibles casos de biopiratería asociados a las colectas de nuevo material genético sea para usos agrícolas, farmacéuticos, médicos y cosméticos que se desarrollan sobre la quinua; no obstante este marco legal es ineficaz cuando el acceso al material genético se realiza en las colecciones de los bancos de germoplasma ya localizadas fuera de los países andinos.

*El marco legal de los Derechos de Propiedad Intelectual o DPI, (OMPI – OMC).*

- Las Patentes, (ADPIC), versus los COV, (UPOV).

El marco legal de los derechos de propiedad intelectual sobre los seres vivos esta igualmente basado en incitaciones monetarias destinadas a promover las innovaciones biológicas. Ofreciendo mecanismos de protección legal para las invenciones basadas sobre la diversidad genética, la propiedad intelectual se espera favorezca la utilización de los recursos genéticos de la quinua. Como se mencionó en relación a los diferentes conceptos sobre el estatus de los recursos genéticos, (ver supra), el sector agrícola está caracterizado por la coexistencia de al menos dos sistemas de propiedad intelectual: El sistema de patentes y el sistema de los certificados de obtención vegetal - COV. Estos dos sistemas están promovidos a nivel internacional respectivamente por el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio - ADPIC de la Organización Mundial de Comercio, (OMC), y por la Unión internacional para la Protección de la Obtenciones Vegetales – UPOV que promueve un sistema *sui generis* adaptado a la naturaleza autoreproductiva y evolutiva del material genético vegetal. En este, los productos derivados de la innovación, (la nueva variedad vegetal), siendo ella misma un recurso genético, un equilibrio debe ser buscado entre protección de la innovación y el acceso a los recursos genéticos. Este equilibrio, en el seno de la UPOV se da a través

de la excepción de la investigación, figura legal que permite la utilización ulterior de los recursos genéticos de una nueva variedad vegetal protegida por un certificado de obtención vegetal, (COV), para fines de investigación.

El sistema UPOV provee igualmente una mejor seguridad jurídica que el sistema de patentes, aun cuando un mismo producto puede ser el objeto de múltiples patentes, una nueva variedad vegetal está protegida por un solo certificado de obtención vegetal, (Dutfield, 2011). Estas situaciones de “tickets de patentes” o grupo de patentes, (Shapiro, 2000, Heller y Eisenberg, 1998), vinculadas a las patentes dependientes de otras, al acaparamiento de patentes o vinculadas a violaciones involuntarias de patentes conllevan a un número de litigios mucho más elevado en el sistema de patentes que en el de los COV.

Generalmente, (al margen de un número limitado de países, entre ellos Estados Unidos), el sistema de patentes no es utilizado para proteger directamente las nuevas obtenciones vegetales, sin embargo es utilizado para proteger las invenciones biotecnológicas, como los procedimientos o las secuencias genéticas que están al origen del mejoramiento vegetal. Más allá de las características comparadas de los dos sistemas sobre el plan técnico, el sistema de propiedad intelectual sobre los recursos genéticos revela problemas fundamentales, los mismos que han sido y son objeto de debate en múltiples publicaciones. Entre las principales críticas identificadas, directamente relacionadas con la problemática de la conservación y la utilización de los recursos genéticos, es que, de hecho los derechos de propiedad intelectual no intervienen desde el inicio de la cadena de la valorización de los recursos genéticos, éstos se encuentran en el extremo opuesto. Consecuentemente, solo funcionan de manera efectiva para las nuevas obtenciones vegetales, o para el material vegetal del que se conoce ya, (incluso parcialmente), su valor, sea a través de datos de caracterización o de evaluación disponibles. Los derechos de propiedad intelectual / industrial se encuentran lejos de brindar las incitaciones suficientes para intercambiar la gran mayoría de la diversidad genética que se encuentra *ex situ*, y menos aún *in situ*, (donde el valor de ésta última es aún desconocido al momento de su

acceso), (Swanson et Goëschl, 2000 ; Goëschl et Swanson, 2002).

Es más, los derechos de propiedad intelectual, en cuanto sistema de incitación funciona muy mal para innovar e investigar en temas orfelinicos, para los cuales una demanda suficientemente solvente no existe. Así mismo, éstos se revelan imperfectos para los países que se encuentran lejos de los actuales avances científicos de la frontera de la innovación y no pueden, consecuentemente, beneficiarse de las ventajas de la protección legal que brindan los derechos de propiedad intelectual. En fin, de la misma manera que los efectos de exclusión, (crowding – out), precedentemente descritos para los mecanismos de acceso y distribución de beneficios, la introducción de incitantes económicos puede afectar los intercambios de material genético o de información, incluso antes del inicio de la innovación. Estas situaciones, denominadas de anti-comunes conducen a un nuevo cuestionamiento de los derechos de propiedad intelectual en situaciones donde éstos no tendrían que estar presentes, afectando los comportamientos cooperativos y altruistas que preexisten, (Heller et Eisenberg, 1998; Cassier, 2002). Todos esos problemas se acentúan aún más en el sector agrícola, permitiendo constatar que la innovación agraria es sobre todo una cuestión de coordinación de la investigación entre numerosos y diferentes actores que solo una cuestión de incitaciones individuales.

Si el sector semillero privado logra funcionar bien sobre la base de incitaciones individuales, se debe tomar en cuenta que este sector depende directa e indirectamente de la exploración de la diversidad genética realizada por instituciones públicas de investigación. En ese sector público, si las incitaciones monetarias no están ausentes, éstas están lejos de representar la totalidad de las motivaciones existentes que explican los intercambios y la utilización de la diversidad genética. De hecho de la misma manera, aquellos que defienden los derechos de las comunidades locales o los derechos sobre los conocimientos tradicionales vinculados a la diversidad biológica reconocen en primer lugar la existencia de derechos colectivos que rigen el acceso, los intercambios y los usos de semillas y los recursos genéticos, sin reducirlos a un marco de derechos individuales tal

como es en el caso de los derechos de propiedad intelectual.

- Las Indicaciones Geográficas y las Marcas Colectivas.

Las indicaciones geográficas y las marcas colectivas, también son parte del sistema de protección intelectual o más específicamente de la protección industrial.

En el sector agrícola, las prospecciones *in situ*, tanto sobre el material biológico como sobre los conocimientos locales vinculados a los recursos de la biodiversidad, sirven generalmente para incrementar las colecciones *ex situ*, (éstas últimas, en función de las plantas colectadas definen sus características y su estatus legal). En este contexto, surge una cuestión sobre el rol que pueden tener las indicaciones geográficas, (por ejemplo, las indicaciones geográficas protegidas – IGP, o las indicaciones de origen controlado, etc.), en promover la conservación de los recursos genéticos, así como eventualmente, en el mantenimiento y la protección de los conocimientos locales. Las indicaciones geográficas están asociadas al hecho de que un producto es originario de un lugar en el cual es producido. En el caso de la selección vegetal ésta permite valorizar una variedad no sólo por su origen geográfico sino sobre todo por su identidad genética; por ejemplo la obtención de una nueva variedad vegetal, (homogénea, distinta y estable, próxima de las variedades de líneas puras), tiene por objetivo obtener un fenotipo independiente de las condiciones ecológicas locales.

Las indicaciones geográficas permiten apreciar las características de un producto derivadas de las especificidades geológicas, de suelo, topográficas, climáticas, humanas, (técnicas actuales y/o conocimientos tradicionales), presentes en su elaboración. Las indicaciones geográficas pueden vincular las prácticas culturales con las prácticas de transformación influyendo en la calidad de los productos, permitiendo distinguirlos y dándoles una reputación. El vínculo entre el producto y el medio geográfico consecuentemente debe estar justificado y debe permitir distinguirlos de otros productos originarios de otras regiones.

Las indicaciones geográficas también son parte del ADPIC de la OMC, en tal virtud igualmente, cada Estado miembro es libre de definir los mecanismos

apropiados para implementarlas al interior de sus legislaciones nacionales. Ciertos países, como los Estados Unidos o África del Sur, no han promulgado normas nacionales para la protección de las indicaciones geográficas, estos países utilizan otros mecanismos, como la protección de los consumidores, las marcas o la lucha contra la falsificación, (passing off, Kalinda, 2010).

Las indicaciones geográficas son signos utilizados para productos que tienen un origen geográfico concreto, que poseen cualidades o una reputación derivadas específicamente de su lugar de origen. Por lo general una indicación geográfica consiste en el nombre del lugar de origen de los productos. Dentro de las indicaciones geográficas se tienen la Denominación de Origen, que es un tipo especial de indicación geográfica que se utiliza para productos que tienen cualidades específicas que se deben exclusiva o esencialmente al entorno geográfico de la producción o elaboración del producto. Es más, un reglamento de las indicaciones geográficas para la elaboración de los productos debe aprobarse, el mismo que igualmente deberá ser objeto de control por organismos nacionales debidamente acreditados. Por ejemplo en Bolivia existe desde el 2002 la denominación de origen « Quinua real del altiplano sur de Bolivia» la misma que fue reconocida a través de la Resolución Administrativa N°18 de 23/07/2002 del Servicio Nacional de Propiedad Intelectual – SENAPI.

Actualmente existe un sistema de registro internacional establecido por el Arreglo de Lisboa relativo a la Protección de las Denominaciones de Origen. Este sistema ofrece la posibilidad de obtener protección para una denominación de origen determinada en todas las partes contratantes del mismo, mediante un trámite de registro único internacional. Actualmente 28 países son parte del Arreglo de Lisboa, de la región andina el Perú es a la fecha el único país parte. A nivel regional latinoamericano, la Comunidad Andina de Naciones – CAN protege igualmente en sus países miembros las denominaciones de origen, a través del Régimen Común de Propiedad Intelectual establecido por la Decisión 489 – CAN.

La duración de la protección y los costos son igualmente variables de un país a otro y muy a menudo las indicaciones geográficas deben ser

previamente obtenidas en el país de origen; éstas no incitan a innovar para aportar mejoras a la calidad de los productos, aunque si una modificación del reglamento puede implicar una mejora de las prácticas y de la calidad.

Una marca es un signo distintivo que permite diferenciar a los consumidores el origen geográfico o las características de un producto.

Por marca colectiva se entienden las marcas que son propiedad de una asociación, cuyos miembros pueden ser empresas, productores, instituciones públicas o cooperativas, que han definido un reglamento para asegurar de obtener un cierto nivel de calidad o de características propias al producto, (OMPI, 2013).

Una marca colectiva debe ser protegida independientemente en cada país o grupo de países en los cuales se desea la protección, (Ejm. Perú o la UE donde existe una protección común). La marca incita a los actores a innovar para mejorar la calidad de los productos que serán distribuidos y presenta entonces un factor de progreso. Ella es más dinámica que las indicaciones geográficas; permiten valorizar de mejor manera los productos a través del reconocimiento de las especificidades que dan un plus valor a esos productos, no obstante las marcas no protegen a los recursos genéticos.

Ningún derecho de propiedad intelectual permite hoy día proteger los recursos genéticos y garantizar una distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su utilización. Es más, los derechos de propiedad intelectual imponen costos importantes al momento del depósito y sobre todo para mantener estos derechos en el tiempo.

- Catálogos nacionales o regionales.

En el presente, en Francia, una variedad vegetal, para estar autorizada y ser puesta en el mercado, debe estar inscrita en un catálogo de variedades y cumplir con criterios de Distinción, Homogeneidad y Estabilidad, (DHE), así como, se debe demostrar un Valor Agronómico Tecnológico y Ambiental, (VATA), suficiente. La nueva variedad debe ser más eficaz sobre ciertos criterios que las variedades actualmente comercializadas. Esos criterios de DHE son los mismos que se necesitan para obtener un COV, i.e., es decir, un derecho de propiedad intelectual sobre las semillas.

En África del Oeste, (incluyendo Mali), existe un catálogo de variedades vegetales en el cual se encuentran nuevas obtenciones vegetales y variedades locales, (poblaciones); es más, en numerosos países la inscripción de una variedad en el catálogo no es una condición necesaria para poder vender y/o utilizar una semilla, (incluyendo los Estados Unidos).

En fin, aunque si un país decide que para ser comercializada y/o utilizada una variedad debe estar inscrita en un catálogo, nada obliga a que esas condiciones para estar inscrita sean DHE y VATA, otras características menos exigentes pueden ser adoptadas, (como el catálogo de África del Oeste, por ejemplo).

Suponiendo que una cosecha puede ser vendida -que existe un mercado- un nuevo tipo de variedades puede estar inscrito en un catálogo específico (catálogo de variedades de conservación, en la Unión Europea), se trata de variedades de conservación que son las razas primitivas y variedades agrícolas naturalmente adaptadas a las condiciones locales y regionales o están amenazadas de erosión genética. Éste catálogo, fue creado con el objetivo de conservar variedades locales y tradicionales, (recursos genéticos y conocimientos asociados), con una visión patrimonial de los recursos genéticos. A priori, este catálogo limita el hecho de que estas variedades puedan ser mejoradas, (evidencia una visión restrictiva para la conservación), salvo si la nueva variedad vegetal obtenida cumple con las condiciones DHS y VATA para ser inscrita dentro del “catálogo oficial de especies y variedades vegetales”. En este caso, Francia evidencia un marco legal particularmente exigente.

En conclusión, en el marco de los derechos de propiedad intelectual - DPI, la implementación de la propiedad intelectual sobre la innovación y, en particular, sobre las nuevas obtenciones vegetales, pone en evidencia la asimetría entre los países sobre sus capacidades de investigación y de acceso a los resultados de las investigaciones mundiales. El desarrollo en curso de nuevas variedades de quinoa reposa ya sobre el acceso y el manejo de biotecnologías de punta utilizadas para obtener nuevas variedades vegetales. De otro lado, el hecho de poder disponer de la capacidad científica para obtener nuevas variedades, implica también que un país disponga de medios financieros para proteger



estas innovaciones varietales; puesto que el costo asociado a una solicitud de COV o de una patente limita también su acceso a un cierto número de países.

Finalmente, los derechos de propiedad intelectual en relación a recursos genéticos van más allá del marco legal de la producción de semillas para la agricultura, pues se están desarrollando nuevos usos en medicina y cosmética que obligan también a considerar no solamente los DPI sobre la caracterización de funciones sino también sobre las transformaciones derivadas, (UPOV 91, Patentes ADPIC).

### **¿Es el TIRFAA de la FAO una alternativa para responder a todas las situaciones en juego vinculadas a la quinua?**

Los recursos fitogenéticos útiles para la alimentación y la agricultura son una preocupación común para los países del mundo, puesto que todos dependen mayoritariamente del intercambio de estos recursos provenientes de otros ámbitos; la preocupación de la extinción continua de éstos recursos impone adoptar medidas particulares que deben tomar en cuenta la naturaleza especial de los mismos, considerando entre otros, que a problemas particulares se deben encontrar soluciones particulares.

La elaboración del Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, (TIRFAA) de la FAO, en vínculo directo con el CDB debe permitir lograr los objetivos de conservación y de utilización sostenible de éstos recursos; la distribución justa y equitativa de los beneficios que se derivan de su utilización, además de promover una agricultura sostenible y fortalecer las estrategias de seguridad alimentaria. Los objetivos mencionados actualmente se aplican a una lista de especies cultivadas inscritas en el Anexo 1 del TIRFAA y que son parte del Sistema Multilateral de Acceso y Distribución de beneficios, (SMAD) creado por este tratado. Resalta en este contexto que la quinua no figura en esta lista.

*El TIRFAA, un marco legal pluralista consensuado.*

En razón de las limitaciones del marco legal para el acceso y distribución de beneficios del CDB, el sector de los recursos fitogenéticos útiles a la alimentación y la agricultura – RFAA, busco desarrollar estrategias

alternativas orientadas a subsanar las soluciones existentes o desarrollar nuevas estrategias más adaptadas a su naturaleza específica y sus formas de utilización en los procesos de investigación y de desarrollo.

Las pistas exploradas buscaron tomar distancia en relación a las negociaciones bilaterales contractuales esbozadas para regular los intercambios de recursos genéticos. Los atributos propios de los RFAA, (diversidad creada por el hombre, importancia de la diversidad intraespecífica para el mejoramiento, interdependencia fuerte entre los países, necesidad constante de nuevas variedades, importancia para la seguridad alimentaria, etc.) solicitaron el establecimiento de un mecanismo de gestión más colectivo de acceso a éstos recursos y de distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su utilización. El TIRFAA con el Sistema Multilateral de Acceso y Distribución de beneficios – SMAD, es a la fecha, el ejemplo más logrado de esta lógica de mutualización de los recursos fitogenéticos; estando destinado, en primer lugar, a reducir los costos de transacción para el acceso a la diversidad fitogenética presente en los bancos *ex situ*; a reducir también los costos de redistribución disociando la distribución de países proveedores individualmente; finalmente acentúa los aspectos no monetarios de los beneficios generados, expresados a menudo de manera independiente al hecho que un producto sea puesto o no en el mercado.

La herramienta que permite esta implementación común sigue siendo un mecanismo contractual, el acuerdo normalizado de transferencia de material genético, (ANTM), puesto al servicio, no de una lógica bilateral sino al contrario, de una reconstrucción común a nivel internacional que oscila entre el bien público internacional y una lógica común global, (“global commons”, ver Halewood *et al.*, 2012 para un análisis a profundidad de esta propuesta). Esta lógica colectiva internacional es directamente compatible con la visión de los recursos genéticos como bienes privados. En este contexto, los recursos genéticos conservados de manera privada quedan libres de ser entregados al SMAD, así como, es posible la apropiación privada de los recursos fitogenéticos recibidos del SMAD, (vía una patente) y mediante el pago de una tasa sobre las ganancias generadas por esta

apropiación. Esta tasa se aplica en base a la lógica del acceso facilitado acordado colectivamente en el TIRFAA. Los montos recaudados por esta tasa son destinados a un fondo colectivo general en beneficio del conjunto de las partes firmantes del TIRFAA y en función de las prioridades que las partes definan, constituyéndose en un ingreso monetario para la distribución de beneficios.

El TIRFAA no se limita al SMAD, que es una herramienta esencialmente pensada para la gestión de los recursos fitogenéticos conservados *ex situ*; en el artículo 9 del tratado se proclama el “Derecho de los agricultores” reconociendo la contribución pasada y presente al mejoramiento y la conservación de los recursos fitogenéticos por los comunidades locales y agricultores, así como, promueve la protección de sus conocimientos tradicionales de interés para los recursos fitogenéticos útiles a la alimentación y la agricultura. No obstante, la implementación de este derecho está limitada al hecho que ésta queda bajo la responsabilidad de los Estados y no del TIRFAA. Con la proclamación de los “Derechos de los Agricultores”, aunque restrictivamente, una legitimidad teórica es reconocida a la existencia de una forma de gestión en la cual los recursos fitogenéticos no son ni un bien privado ni un bien público, (nacional o internacional), sino un bien común compartido por los agricultores del mundo.

La implementación efectiva de éste derecho está generando problemas y, a pesar de ciertas iniciativas locales, este es poco apoyado por los Estados, (Andersen, 2008). Sin embargo actualmente, el TIRFAA es el único tratado que propone un marco legal pluralista que reconoce la legitimidad (pese a las grandes dificultades para su implementación efectiva) de diferentes concepciones que se enfrentan en relación al estatus y la gestión de los recursos genéticos.

De todas maneras, el equilibrio que el TIRFAA ha logrado es aún imperfecto y frágil. Los diferentes elementos del tratado están siendo implementados por los países a un ritmo diferente y las sensibilidades siguen vivas entre las partes firmantes en relación a su implementación equitativa. Si el acceso facilitado a los recursos genéticos, promovido por el TIRFAA, es crucial para el sector agrícola y alimenticio, una de las principales desigualdades percibidas resalta el hecho de que no todos los países pueden beneficiarse de la misma manera de

este acceso facilitado a los recursos fitogenéticos útiles a la alimentación y la agricultura - RFAA. En razón de la escasas capacidades de investigación, (y más particularmente para la obtención de nuevas variedades vegetales), las partes integrantes del TIRFAA menos desarrolladas, los países en desarrollo, no tienen los suficientes medios y capacidades para sacar provecho de los recursos fitogenéticos conservados y puestos a disposición en el seno del SMAD. Con razón o no, insistir más y exclusivamente sobre la conservación *ex situ* es percibida por muchos como un servicio (dirigido principalmente), en beneficio de los intereses de los países industrializados y de las partes firmantes más desarrolladas en biotecnología. Tal situación se agudiza, aún más, si se toma en cuenta que la utilización efectiva, con fines comerciales, de los recursos fitogenéticos obtenidos del SMAD solo exige algunas compensaciones de carácter voluntario u obligatorio según sea el nivel de apropiación de los recursos fitogenéticos contenidos en la innovación y/o de la innovación misma. El nivel de compensación reclamado por el TIRFAA está en función del nivel de apropiación de los recursos fitogenéticos en estrecha relación con los derechos de propiedad intelectual sobre las innovaciones generadas y la difusión de mismas, (productos comercializados, licencias concesionadas, etc.). Estas compensaciones voluntarias u obligatorias son destinadas a un fondo internacional, cuya utilización promueve la conservación *in situ* y *ex situ* de los recursos fitogenéticos y el desarrollo de innovaciones para los países en vías de desarrollo. Actualmente en la FAO se ha generado nuevamente un proceso de reflexión sobre mecanismos que puedan incrementar este fondo, puesto que los mecanismos actuales se adveran insuficientes frente a sus ambiciones iniciales sobre la conservación *in situ* y el desarrollo de innovaciones a favor de los países en vías de desarrollo.

*Ventajas y límites de la inclusión de la quinua en el Anexo 1 del TIRFAA.*

La especie *Chenopodium quinua* está actualmente ausente del Anexo 1 del TIRFAA. Proponer su incorporación sobre esta lista no es una tarea fácil, entre otras, en razón de sus características particulares vinculadas a su distribución geográfica original, a la distribución actual de sus recursos genéticos, a sus diferentes usos, etc. En tal virtud,

un análisis en profundidad sobre las ventajas y desventajas de su incorporación permitiría identificar las diversas situaciones en juego que son percibidas de manera diferente según los intereses específicos de los diferentes grupos de actores vinculados a los recursos genéticos de esta especie.

#### Ventajas:

- Las colecciones de quinua están dispersas en diversos países del mundo. La pérdida de soberanía generada por el SMAD es un hecho ya existente, puesto que los intercambios internacionales de quinua se dan en gran parte fuera de los países andinos. El SMAD puede ser un medio, no para recuperar una autonomía de decisión sobre el acceso y los intercambios de los recursos genéticos de la quinua, sino más bien, un medio para mejorar el control / monitoreo / tracking de éstos recursos, actividades que estarían a cargo del SMAD a nivel mundial, (sin costos adicionales para los países proveedores de los recursos genéticos de la quinua).
- Un marco legal internacional hace más difícil la biopiratería o en todo caso la vuelve más riesgosa. La inscripción de la quinua en el SMAD del TIRFAA podría ser utilizada de manera defensiva para evitar una apropiación abusiva de sus recursos genéticos.
- El TIRFAA permite participar en el fondo de distribución de beneficios para desarrollar proyectos de caracterización de fenotipos o de procesos participativos de mejoramiento de variedades vegetales de la quinua, (Participatory Plant Breeding - PPB) a nivel regional o global, en los cuales los beneficios serían colectivos o podrían interesar a nuevas fuentes de financiamiento.

#### Límites:

- Pese a las ventajas innegables del TIRFAA, éste sufre de ciertos límites que no le permiten responder, a la totalidad de situaciones que están en juego sobre los recursos genéticos de la quinua, (anteriormente mencionadas).

Principalmente por el hecho de que la quinua es una especie con múltiples usos.

- Se ha visto que una parte poco conocida de los intercambios de los recursos genéticos de la quinua son utilizados para otros usos que no son ni agrícolas ni alimenticios. Estas actividades no son controladas por el TIRFAA, y este no podrá regular de manera satisfactoria esos intercambios realizados con fines farmacéuticos y/o cosméticos.
- De otro lado, la implementación del TIRFAA sobrelleva limitaciones importantes en relación a los principales actores de la gestión de los recursos genéticos de la quinua, sea a escala nacional de los países o a la escala de grupos de actores vinculados a estos recursos. En relación a los países de origen de las plantas inscritas en el Anexo 1 del Tratado de la FAO, (principales contribuyentes del Sistema Multilateral de Acceso y Distribución de beneficios – SMAD), así como, en relación a los débiles montos financieros disponibles en el fondo de distribución de beneficios. La insistencia de la dimensión monetaria en desmedro de las ventajas o compensaciones no monetarias y de las ganancias en materia de respeto de obligaciones que confiere el TIRFAA es un contra sentido desde un punto de vista práctico, sin embargo, es un fuerte argumento político que juega en contra del tratado.
- De otro lado, la debilidad de la implementación de los artículos 6 (sobre la utilización sostenible de los recursos genéticos) y 9 (sobre los derechos de los agricultores) del TIRFAA que son particularmente adaptados y pertinentes para promover una utilización sostenible de la quinua, generan frustraciones que impiden conseguir mayor apoyo para su inclusión en el Anexo 1. Evidentemente, el TIRFAA siendo un instrumento relativamente nuevo, se puede considerar que esta situación va a evolucionar favorablemente en el futuro, sin embargo estos artículos no tendrán el mismo carácter operacional y de dificultades que tienen los artículos 10 al 13 relativos al SMAD.

- De otro lado, en la estructura actual, el SMAD se revela sobre todo adaptado al material genético conservado *ex situ* en los bancos nacionales o internacionales; siendo menos adaptado para los intercambios de material conservado *in situ* y para el material genético en desarrollo en el seno de los centros de mejoramiento.
- Finalmente, cualquiera sea la dimensión operacional alcanzada en el tiempo por el TIRFAA, los aspectos de “valorización al inicio” en vínculo con las cuestiones de propiedad intelectual, salvo evolución mayor y espectacular del tratado, no serán tomadas en cuenta y deberán ser tratadas por otros textos legales internacionales.

Para concluir sobre el TIRFAA, las diferentes situaciones en juego vinculadas a la gestión y utilización sostenible de los recursos fitogenéticos no son consideradas de la misma manera. El primer punto que surge es que el Tratado se aplica únicamente a los recursos fitogenéticos útiles a la alimentación y a la agricultura, con un límite suplementario que corresponde a las especies presentes sobre la lista del Anexo 1. Este marco legal no aplica en el caso de la quinua, puesto que de una parte aún no reconoce a la quinua como especie cultivada ni a sus parientes silvestres que participan en su dinámica evolutiva y de otra parte, los usos de la quinua vinculados a la medicina o a la cosmética son totalmente ignorados.

Pese a ello, el SMAD se basa principalmente en la distribución de los recursos fitogenéticos de las colecciones conservadas *ex situ*, por tanto, necesita igualmente clarificar el rol de los centros de conservación *ex situ* del Grupo consultivo internacional sobre investigación - CGIAR, (Por ejemplo del Centro Internacional de la Papa – CIP en relación a los tubérculos y los granos de los países andinos). En relación a la protección de las innovaciones u obtenciones de nuevas variedades vegetales, el TIRFAA permite un acceso facilitado a los recursos genéticos de las colecciones *ex situ* con un marco legal compatible con los convenios de la UPOV, consecuentemente favorables a los procesos de innovación y obtención de nuevas variedades vegetales, así como también favorable a la continuación de las investigaciones de nuevas variedades vegetales. El TIRFAA permite igualmente

el depósito de patentes sobre las innovaciones o las obtenciones vegetales realizadas a partir del material genético obtenido del SMAD, situación que se opondría a la continuidad de los procesos de investigación para la obtención de nuevas variedades vegetales.

De otro lado, si bien el TIRFAA propone un marco más pluralista que el del CDB, este no permite responder a todas las situaciones en juego identificadas sobre la gestión de los recursos genéticos de la quinua. De hecho, las situaciones en juego relacionadas al reconocimiento de las comunidades andinas, tanto como, a la distribución de los beneficios derivados de su utilización se encuentran aún en un estado de simple declaración de intención.

### Otras alternativas

Después de haber realizado este primer análisis de los marcos legales existentes, se debe también plantear la cuestión de “la inacción”, permitiendo comparar el presente análisis con el caso de los recursos genéticos de la papa, (por ejemplo, tomando en cuenta que actualmente ni Bolivia ni Ecuador, ambos países miembros de la UPOV, no disponen aún de ningún COV).

Actualmente diversos aspectos sobre la gestión de los recursos genéticos han sido tomados en cuenta en los marcos legales de la CDB y del TIRFAA, o del ADPIC y los convenios de la UPOV; no obstante en este contexto surgen preguntas: ¿Los marcos legales actuales pueden ser mejorados o su implementación puede hacerse de manera efectiva tomando en cuenta las diversas situaciones no tratadas hasta ahora? Si no, ¿Cuáles serían los marcos legales alternativos para cubrir de mejor manera esas situaciones en juego?

### Mejoramiento de los marcos legales actuales.

- El Convenio de Diversidad Biológica - CDB

Como se mencionó anteriormente, el CDB ofrece un marco legal global, (en términos de aplicación). La reciente adopción del Protocolo de Nagoya, (PN), aunque todavía no entra en vigor, ofrece sin ninguna duda un marco jurídico exigente susceptible de responder a algunas situaciones en juego identificadas para los recursos genéticos de la quinua. Las especificidades de las modalidades de intercambio y de innovación, así como, la importancia de las colecciones *ex situ* hacen



que este marco legal no sea lo suficientemente adaptado para su actual implementación.

Los artículos 10 y 11 del Protocolo de Nagoya definen escenarios posibles de evolución que pueden revelarse interesantes para el caso de la quinua. El artículo 10 trata sobre los casos donde la soberanía sobre los recursos genéticos no es clara o es muy difícil de abordar. Obliga a las partes a examinar la necesidad y las modalidades de un mecanismo de distribución de beneficios multilateral mundial para una distribución justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos y de los conocimientos tradicionales asociados a los mismos; en situaciones transfronterizas o cuando no es posible tener un acuerdo o no es posible obtener el consentimiento previo e informado. En esas situaciones, los Estados miembros deben examinar la necesidad y las modalidades de un mecanismo multilateral mundial de distribución de beneficios. Ese mecanismo multilateral eventual sería entonces únicamente voluntario y complementario al Protocolo de Nagoya.

Este mecanismo multilateral podría permitir evitar costos excesivos de seguimiento y trazabilidad; su alcance podría ser interpretado de manera estricta o de manera extensiva. La interpretación extensiva, podría abordar la cuestión sobre el alcance temporal o geográfico del Protocolo de Nagoya, (Dedeurwaerdere *et al.*, 2012). En sentido estricto el mecanismo multilateral englobaría a los recursos genéticos de los centros de origen, a los de estatus desconocido, incluso abarcaría a los recursos genéticos conservados en las colecciones *ex situ* conformadas antes de la entrada en vigor de la CDB, (Buck y Hamilton, 2011).

Como en el caso del TIRFAA es importante resaltar que los beneficios a ser distribuidos, en aplicación del mecanismo multilateral, deben ser utilizados para promover e implementar procesos orientados a la conservación de la diversidad biológica y la utilización sostenible de sus componentes a nivel mundial. Esto significa que la distribución de beneficios no se hace con el o los países proveedores, se resalta que tal situación, para ciertos países es un obstáculo para adoptar tal mecanismo.

El artículo 11 prevé una colaboración en los casos cuando los mismos recursos genéticos están

situados *in situ* sobre el territorio de más de un país miembro. Desafortunadamente, como en el caso del artículo 10, el lenguaje es vago y mal definido: No existe una definición de lo que significa exactamente “recursos genéticos similares”. En el marco de proyectos de investigación científica comunes, el caso de un mismo recurso genético de dos países sería únicamente el caso de las plantas, (caracterizadas por una gran estabilidad genética), y no de cepas microbianas, (la mayor parte de las sepas de una misma especie no son exactamente las mismas o las pequeñas diferencias genéticas conducen a propiedades diferentes, en razón del tamaño relativamente pequeño del genoma de un microbio) y los animales, (diferentes individuos de una raza). Consecuentemente, el artículo tiene probablemente un campo de aplicación muy restrictivo en relación a los acuerdos de acceso para fines de investigación.

Igualmente las cuestiones relativas a la distribución de beneficios en situaciones transfronterizas quedan abiertas. Si se debería seguir la misma regla que en el artículo 10, esta podría reducir la incitación de los países a comprometerse en una negociación sobre este artículo para considerarlo suficientemente interesante para aplicarlo en el caso de la quinua.

- El TIRFAA, Artículos 6 y 9

Los países miembros del TIRFAA se encuentran frente al reto de promover adecuadamente la utilización sostenible de los RFAA, entre otros, mediante políticas equitativas para el mantenimiento de la diversidad de los agroecosistemas, la investigación agroecológica y el mantenimiento de una base genética amplia, el fitomejamiento participativo, la promoción de cultivos infrautilizados para reducir la erosión genética y aumentar la productividad de alimentos a nivel mundial.

Se resalta la responsabilidad derivada a estos países de proteger y promover los “Derechos de los Agricultores” mediante la distribución de los beneficios derivados de la utilización de los RFAA, la protección de los conocimientos tradicionales vinculados a los RFAA, la participación en la adopción de decisiones sobre la conservación y el uso sostenible de los RFAA, así como, garantizar a los agricultores el derecho a intercambiar y vender sus variedades.

Uno de los elementos clave del TIRFAA es la utilización sostenible de los recursos fitogenéticos, como se especifica en el artículo 6 que es diferente de otros componentes del tratado. Este artículo se aplica a todos los recursos fitogenéticos y no solamente a aquellos de las especies que son parte del Anexo 1. Todas las partes firmantes del tratado se comprometen entonces a implementar las disposiciones necesarias para lograr estos objetivos; sin delegar esta responsabilidad únicamente a la voluntad política de los Estados, como es el caso del artículo 9, sobre los Derechos de los Agricultores, o el artículo 5.1., sobre la “conservación”.

El Artículo 6 retoma de hecho los tópicos clave descritos en el « Plan de acción mundial para la conservación y utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura » adoptado durante la Conferencia de Leipzig en 1996.

Esas particularidades sobre la utilización sostenible de los recursos fitogenéticos deberían hacer más fácil su implementación en los Estados parte, contrariamente a lo que sucede con el Artículo 9 sobre los Derechos de los Agricultores que son generalmente un tema de debate importante en las negociaciones, tanto a nivel nacional e internacional.

Por tanto, en la realidad, los artículos 6 y 9 son a menudo asociados al párrafo 9.3., relativo al derecho de intercambiar, de utilizar y de vender las semillas en cumplimiento la legislación nacional de cada país parte. Este artículo rebota con fuerza sobre el párrafo 6.2 que está orientado a promover el mantenimiento de los sistemas agrícolas que conservan los recursos genéticos diversificados de manera sostenible. El análisis de los objetivos de los artículos 6 y 9 resalta la necesidad de desarrollar una reflexión para revisar y adaptar las normas sobre la difusión de las variedades y las estrategias de selección, dejando sobretudo un lugar al marco de la selección participativa.

En el mismo sentido se debe analizar la protección de los conocimientos tradicionales vinculada a la promoción de la utilización de las variedades locales y de especies sub utilizadas. Sin embargo, una vez más las medidas de distribución de beneficios son generales con una implementación eventual según la definición que se adopte sobre la distribución

justa y equitativa de beneficios derivados de su utilización. Manteniendo una lógica eminentemente mercantil basada en intereses económicos, existe siempre el riesgo de introducir un mecanismo de subvención para la conservación de las variedades locales. Consecuentemente, la distribución justa y equitativa de beneficios deberá buscar mecanismos de implementación que promuevan también beneficios no económicos de la utilización sostenible de la biodiversidad agrícola. De este modo, el acceso de los agricultores a los recursos genéticos podría verse facilitado y ampliado, así como también, se implementarían procesos de acompañamiento a los agricultores para intercambiar y enriquecer mutuamente las estrategias de selección / creación varietal que consideren sobre todo sus necesidades y su participación en el proceso de innovación. En este contexto, los actuales y diversos marcos legales, (CDB, TIRFA, UPOV, ADPIC, legislaciones regionales y nacionales), así como los procesos de la selección participativa podrían servir de soporte para conducir esta reflexión a un nivel global.

- Reconocimiento de las variedades tradicionales al margen de los COV o de las patentes.

Es importante resaltar en este análisis el caso de la UE, particularmente de Francia, en donde un derecho de propiedad intelectual no está necesariamente vinculado a una autorización para su comercialización, sino más bien puede estar vinculado a un derecho de prohibir. Paralelamente puede darse el caso que una variedad autorizada a ser puesta en el mercado no está necesariamente protegida por un derecho de propiedad intelectual. Consecuentemente, la sola implementación de los derechos de propiedad intelectual no permiten regular el conjunto de cuestiones relativas a la gestión de los recursos genéticos y del sector de las semillas. Por tanto se debe evaluar en este caso, algunos derechos “complementarios”, tales como: El derecho a contar con una autorización para introducir una variedad en el mercado. Analizar estos aspectos es importante y particularmente útil para comprender la utilización, los intercambios o sobre todo la venta de semillas tradicionales y locales, (que en gran medida no cumplen ni los criterios DHS ni tienen un VATA suficiente).

Una semilla de una variedad vegetal no inscrita en el catálogo oficial, en Francia y en la mayoría

de los países de la Unión Europea – UE, no puede ser ni vendida ni intercambiada. Sin embargo, se puede vender una cosecha derivada de la utilización de semillas de variedades no inscritas en el catálogo nacional; a excepción de las variedades de conservación que tienen su propio catálogo, pero en el cual sus usos son limitados, (ver punto precedente). ¿Cuáles serían las consecuencias si un sistema similar se generalizaría?, ¿Qué riesgos existirían para los agricultores que deberían utilizar únicamente sus propias semillas derivadas de variedades tradicionales, (sin intercambios, ni comercialización), o deberían volverse dependientes de empresas de semillas nacionales o sobretodo de transnacionales de semillas?

¿A nivel nacional o regional, se debería definir un marco legal sobre las autorizaciones para poner en el mercado insumos de la agricultura, entre ellas de las semillas? En este marco legal, ¿qué criterios se deberían tener para autorizar o prohibir? El objetivo es construir estrategias de autorización en función de las variedades que son actualmente utilizadas en los países y que son adaptadas a las variedades puestas a punto en el país, eso significa que el conjunto de los actores involucrados, (las partes interesadas), deben contribuir a la construcción de estas estrategias, (tanto los agricultores mejoradores como las firmas de semillas y de transformación). En este marco legal, el caso de los biopesticidas en Europa es esclarecedor: Los biopesticidas son menos eficaces – en relación a los criterios de homologación – que sus substitutos químicos, consecuentemente estos últimos han sido autorizados de manera suplementaria. Esta decisión puede ser interpretada como: “No son tan buenos” pero igualmente se les autoriza.

No se debería permitir que las variedades tradicionales sean consideradas como suplementos en relación a un estándar establecido para las nuevas obtenciones vegetales inscritas en el catálogo, generando un proceso de depreciación de la percepción de las variedades locales y tradicionales obtenidas por los agricultores y/o sus organizaciones.

En relación al uso de variedades tradicionales en los programas de mejoramiento, diversas negociaciones están en curso a nivel del CDB y de la FAO para asegurar la trazabilidad de los

intercambios de material biológico, entre otros, así como para la implementación de la certificación de origen y la implementación de un proceso de divulgación del origen del material biológico al momento de solicitar un derecho de propiedad intelectual y más particularmente al momento de solicitar patentes. Sin embargo, la implementación de esos certificados podría ser complicada en el sector semillero, puesto que los cruzamientos son múltiples, consecuentemente los costos de transacción crecerían de manera exponencial. La alternativa es reconocer los conocimientos de los agricultores sobre las variedades tradicionales y otras variedades como se propone en las secciones precedentes en el marco del protocolo de Nagoya y del SMAD de la FAO.

Las diferentes opciones que puede tener un país para gestionar la relación entre semillas tradicionales y las semillas de las nuevas obtenciones vegetales son: Definir autorizaciones de venta en el mercado y definir las condiciones de utilización y de intercambio de semillas. Pero la opción de esos diversos tipos de autorización tendrá consecuencias sobre la producción agrícola del país en mención y sobre los modos posibles de selección y obtención de nuevas variedades vegetales. Los intereses en juego en relación a las autorizaciones de venta en el mercado y de certificación conciernen por tanto a materiales múltiples y a usos múltiples. Siguiendo el ejemplo de la UE, en ella existen al menos 7 tipos de semillas: Las variedades protegidas inscritas en el catálogo; las variedades inscritas en el catálogo y no protegidas; las variedades antiguas que no están más inscritas en el catálogo; las variedades tradicionales inscritas en el catálogo de variedades de conservación; las variedades tradicionales no inscritas en el catálogo de variedades de conservación; las semillas de las granjas de variedades protegidas y las semillas de las granjas de variedades no protegidas e inscritas en el catálogo.

Para cada uno de estos tipos de variedades, muchas opciones mutuamente inclusivas de acceso y de usos son posibles:

¿Se pueden comercializar?, ¿Hace falta una inscripción en el catálogo o no?, ¿Quién las puede comercializar? En Francia por ejemplo, solo los propietarios o los poseedores de variedades inscritas en el catálogo pueden comercializar. Un

agricultor no puede vender ninguna variedad que él habría mejorado si no está inscrita en el catálogo.

¿Cuáles son las condiciones para que existan intercambios de semillas entre los agricultores? ¡En Francia, país que cuenta con un marco legal, entre los más limitantes para los agricultores, los intercambios de semillas, que sean protegidas o no, tradicionales, locales o cuales sean, son prohibidos!

¿Quiénes pueden mejorar las variedades vegetales y a partir de que material? A priori, todo el mundo puede hacer mejoramiento vegetal a partir de semillas existentes, incluso con aquellas protegidas por un COV. Sin embargo, la utilización de una variedad mejorada es limitada, la variedad mejorada debe estar inscrita en el catálogo para poder ser comercializada, sino, esta variedad sólo podrá ser utilizada por los obtentores vegetales, sin que éstos las puedan entregar a otros agricultores, (incluso gratuitamente), salvo con fines futuros de obtención de nuevas variedades vegetales.

¿Cuáles son las condiciones para poder producir y utilizar las semillas de una granja? ¿Se pueden utilizar sin utilidades o con utilidades? A nivel mundial las condiciones sobre la producción de semillas de granja estuvieron fuertemente endurecidas durante estos últimos años. La UE y Francia por ejemplo han escogido la línea dura del Convenio de la UPOV de 1991 que establece la obligación de pagar utilidades a los seleccionadores, así como, que los agricultores no pueden intercambiar semillas, sea cual fuere el tipo de semillas. Incluso en los programas de obtención de nuevas variedades vegetales, estas obligaciones se aplican al conjunto de semillas/variedades y a todos los niveles de la escala que va del agricultor al semillero privado. En el marco de un programa de selección, las variedades de conservación pueden ser utilizadas como insumo. El nivel de inversión en la obtención de nuevas variedades vegetales, (sea empírica o realizada utilizando biotecnologías de punta), dependerá de los niveles de retorno de la inversión, entonces de la dimensión del mercado y/o de la existencia de subvenciones públicas que las inciten.

La posibilidad de selección de las semillas, de obtención de nuevas variedades por los agricultores es esencial y ha sido siempre esencial desde hace miles de años. En este análisis las cuestiones que

sobresalen son:

¿Una selección para quién?, ¿Para uno mismo, para un grupo?

¿Por qué seleccionar? Frente a la ausencia de una variedad comercial adaptada a una demanda particular asociada a un pequeño mercado, los solicitantes no tienen los medios financieros suficientes para poder comprar semillas e insumos agrícolas costosos...

¿Cómo estaría organizada esta selección?, ¿Si hago el mejoramiento u obtengo nuevas variedades solo para mí?, ¿Si intercambio con fines de mejoramiento con mis vecinos o movilizo a otros actores, de la investigación pública o de la investigación privada, según yo esté en un marco de valores mercantiles privados o de valores sociales de la innovación? En este contexto, la selección participativa es un modelo que asocia los actores públicos y privados, (principalmente los agricultores) y las tecnologías en genética y biología molecular.

Los diferentes aspectos a considerar en la selección de variedades vegetales por y/o con los agricultores; con o sin la investigación pública; está sometida a criterios de comercialización y de intercambio de variedades. Estos criterios tienen mayor importancia para los agricultores seleccionadores que las semillas de granja obtenidas de las cosechas anteriores u obtenidas de la reproducción de sus semillas.

Los agricultores seleccionan solos o en el marco de programas participativos, si las variedades disponibles no les son suficientes sea porque son muy frágiles o mal adaptadas a sus objetivos. La selección es generalmente dirigida por el utilizador, (o los utilizadores). De otro lado, en el ámbito financiero, las limitaciones de presupuesto existen, la selección no debe ser demasiado onerosa en relación a las ganancias futuras esperadas. La organización de la selección por y con los agricultores depende entonces de los objetivos de los agricultores y de las limitaciones institucionales nacionales, en general los agricultores que están dentro de estos procesos no están orientados al mercado internacional. En el caso de la selección participativa el trabajo de obtención de nuevas variedades “mejoradas” a partir de las variedades tradicionales, se realiza en una marco de utilización



delimitado que puede implicar un alto costo de inversión para los agricultores que participan en el proyecto: Distribución de costos en el marco de la implementación de un programa de selección participativa; tiempo pasado por el agricultor y movilización de parcelas puestas a disposición del proyecto. La obligación de la inscripción en un catálogo y las condiciones drásticas de esta inscripción hacen que actualmente, en Francia, las variedades puestas a punto en los proyectos de selección participativa no cumplan con los criterios para ser homologadas, consecuentemente éstas no pueden ser vendidas ni, en teoría, intercambiadas.

En la UE, algunos aspectos de flexibilidad fueron identificados, en particular en Alemania, donde los clubes de agricultores han sido reconocidos. Se encuentra igualmente este género de iniciativas en Francia, (Moÿ, 2010). En estos clubes, sus miembros pueden acceder a variedades realizadas “colectivamente”, (se entra así, en un nuevo espacio de análisis), el retorno a los bienes comunes de un club. Consecuentemente en el presente análisis se puede hablar de variedades comunes de un club desarrolladas colectivamente y con derechos colectivos, por tanto, se podría imaginar la implementación de un tal registro a nivel mundial, (FAO, ICRISAT,...), que permitiría identificar las variedades puestas a punto en esos proyectos con sus características, esto les procuraría un reconocimiento institucional, pero sin que ello necesariamente les procure una protección legal.

#### *Marcos normativos alternativos para proteger los recursos genéticos.*

Algunas soluciones alternativas pueden igualmente implementarse o pueden ser promovidas por grupos de actores, (agricultores, comunidades campesinas, investigadores públicos o privados, cooperativas, transformadores, comerciantes, consumidores, etc.), involucrados en su utilización, los intercambios de recursos genéticos y la valorización de los productos obtenidos a partir de esos recursos.

El impacto de esas soluciones dependerá de muchos factores, entre ellos, del involucramiento de numerosos actores a gran escala y del reconocimiento por otros actores. De hecho, algunas veces ciertas propuestas se encuentran bloqueadas puesto que aparentemente no se pueden aplicar

a nivel global: Pueden carecer de mecanismos de influencia política para su reconocimiento; mostrar vacíos en el plan jurídico, o no integran toda la problemática relativa a la gestión de los recursos genéticos o los conocimientos tradicionales, lo que les hace poco adaptadas a estos casos específicos.

- Los Sistemas Ingeniosos del Patrimonio Agrícola Mundial – SIPAM, (FAO – UNESCO)

Los Sistemas Ingeniosos del Patrimonio Agrícola Mundial - SIPAM están orientados a promover y conservar ecosistemas y paisajes agrícolas específicos mejorados a través del tiempo por distintas generaciones de pobladores locales, (agricultores, pastores, pescadores, etc.), que han elaborado prácticas y técnicas originales y adaptadas a los contextos locales y que aún están vigentes en la actualidad. Estos sistemas toman en cuenta numerosas y complejas interacciones entre las especies y las prácticas humanas contribuyendo al desarrollo y al mantenimiento de la biodiversidad agrícola y asociada.

La clasificación del proyecto SIPAM en el marco del patrimonio Mundial de la UNESCO confiere a los sitios identificados un reconocimiento, tanto por los recursos conservados como por las prácticas asociadas, mostrando así, la importancia de la agrobiodiversidad en la construcción y el mantenimiento de esos paisajes agrícolas; sin embargo este reconocimiento no es una herramienta para la protección legal vinculada a la gestión de los recursos fitogenéticos. Este reconocimiento otorga un valor a un espacio geográfico determinado, permitiendo a su vez promover o incrementar la valorización de los productos agroturísticos originarios de estos territorios. Para dar valor a estos sistemas, dentro de un proceso de producción sostenible, este reconocimiento debería apoyarse en una protección similar a las indicaciones geográficas o a las marcas colectivas con el objetivo de lograr la identificación de ese patrimonio agrícola mundial en los diferentes mercados. Como se mencionó anteriormente, este reconocimiento no brinda una protección que considere las variedades agrícolas de base en relación con las prácticas agrícolas desarrolladas a través de la historia de las sociedades agrarias, por lo que los recursos fitogenéticos de base no están considerados en el mismo.

- Los Paisajes bioculturales

De la misma manera que los SIPAM, después de 1992 el Tratado sobre el Patrimonio Mundial de la UNESCO permite reconocer y proteger los paisajes culturales que resultan de las interacciones entre la acción del hombre y su medio ambiente; expresan una larga e íntima relación de los pueblos con su medio ambiente, (UNESCO 2013). Algunos paisajes culturales están vinculados a técnicas específicas de uso de la tierra que aseguran y mantienen la diversidad biológica, otros a creencias, a prácticas artísticas y costumbres arraigadas que dan testimonio de una excepcional relación espiritual del hombre y la naturaleza.

La UNESCO promueve tres categorías de paisajes culturales:

- Los paisajes esencialmente evolutivos, son aquellos que tienen un rol social y que se subdividen en dos sub categorías. Los paisajes vivos que continúan evolucionando y los paisajes reliquias, en el cual el proceso evolutivo no existe.
- Los paisajes culturales asociados, son aquellos que resultan de la asociación de fenómenos culturales, artísticos o religiosos asociados al medio ambiente.
- Los paisajes claramente definidos y creados voluntariamente por el hombre, tales como, los parques y jardines.

La protección de los paisajes culturales permite desarrollar nuevas técnicas de uso sostenible de las tierras, mejorando los valores naturales del paisaje y por tanto son útiles para la conservación de la biodiversidad.

En tal virtud, en el caso de la quinua los paisajes culturales involucran a los agroecosistemas en su globalidad a diferentes escalas. Por tanto los paisajes culturales están en directa interacción con las prácticas humanas de uso y conservación *in situ* de los recursos genéticos de la quinua y los conocimientos tradicionales vinculados a los recursos de la biodiversidad; más que con los procesos de protección, valorización y distribución justa y equitativa de la utilización de estos recursos y conocimientos. Por tanto, los paisajes culturales son herramientas adaptadas para conservar *in situ* parcialmente la diversidad genética de la quinua.

No son herramientas adaptadas para conservar la diversidad genética de la quinua en su conjunto y garantizar una distribución justa y equitativa a los países de origen de esos recursos genéticos. No obstante, estos sistemas promueven el reconocimiento de la identidad de las prácticas humanas desarrolladas en relación con las condiciones ambientales particulares y promueven valores (socio-culturales) distintos a los valores monetarios únicamente.

Los paisajes culturales, por ende, los agroecosistemas están reconocidos por que se mantienen en el tiempo gracias a prácticas agrícolas durables de gestión de la agrobiodiversidad desarrolladas por los agricultores hasta la fecha, entre otros, garantizando la conservación *in situ* de los recursos genéticos de la quinua. No obstante, estos paisajes culturales dedicados a la conservación deben estar abiertos a nuevos conocimientos, técnicas e intercambio de recursos genéticos.

- El Sistema de Licencias Abiertas de Semillas (SLAS)

El Sistema de licencias abiertas de semillas - SLAS[3] (Open Source Seed License en inglés o OSSSL), es una transposición directa al sector de las semillas de un concepto desarrollado inicialmente para los programas informáticos. Basándose en el concepto del SLAS, las variedades y las semillas de las plantas son consideradas como bienes comunes de dominio público a ser compartidos libres de derechos de propiedad intelectual.

En este sistema, en primer lugar se incorporan las variedades derivadas de la selección participativa y/o tradicional con base genética amplia, las mismas que tienen mayor grado de adaptabilidad en relación a su medio ambiente y a los potenciales efectos del cambio climático global. Entre ellas estarían las variedades tradicionales de quinua cultivadas en la zona andina.

En el SLAS, las variedades mencionadas no necesitan cumplir con los requisitos de novedad, distinción, homogeneidad y estabilidad puesto que no entran en el circuito clásico de protección intelectual a través un COV, una patente, o de regulación a través de su inscripción en un catálogo oficial de variedades cultivadas, (Deibel, 2013).

El SLAS se complementa con el concepto del

copyleft [4], en el que, consecuentemente, todas las mejoras que se hagan a una variedad se quedan en el sistema libres de derechos o regulaciones, lo cual evita que un tercero se apropie de la variedad inicial solo por haberla modificado ligeramente, (Kloppenburger, 2010).

Los promotores del SLAS proponen igualmente una licencia o contrato modelo en la cual los beneficiarios se comprometen a proveer gratuitamente una parte de su producción de semillas de la variedad adquirida bajo este sistema. Al firmar una licencia y hacer públicas las informaciones sobre todas las prácticas culturales realizadas, así como, en base a la integración del concepto del copyleft, se deben hacer públicas las mejoras genéticas realizadas. Finalmente, en virtud de esta licencia o contrato que tiene como finalidad principal liberar el acceso a los recursos genéticos de las variedades, las partes contratantes se comprometen a no utilizar las semillas para producir organismos genéticamente modificados – OGM.

Algunos proponen también asociar el SLAS con la filosofía de los datos abiertos/libres para promover y preservar los conocimientos tradicionales asociados a las variedades tradicionales o modernas, entre otros, como también permitir la publicación y el acceso libre a las secuencias genéticas de esas variedades para evitar el depósito de patentes. Sin embargo, este sistema también tiene sus debilidades y debe desarrollar mecanismos para proteger el SLAS del depósito de patentes sobre funciones específicas en relación a los genes de las plantas.

Para el buen funcionamiento del SLAS se necesita crear una gran red de intercambios de semillas. En este contexto los intercambios entre las comunidades locales serían favorecidos y abiertos para que también, agricultores, investigadores u otros actores del mejoramiento de las variedades, puedan acceder y trabajar adoptando las licencias abiertas del SLAS.

**Conclusiones sobre el SLAS:** El SLAS junto con los conceptos mencionados, favorecen más la libre circulación de variedades tradicionales y/o modernas permitiendo continuar con la innovación y el mejoramiento de las mismas. Consecuentemente el SLAS podría ser una herramienta importante para evitar que un tercero se apropie de una variedad a

través de una patente o un certificado de obtención vegetal.

Es por tanto, un marco abierto que promueve a la vez la producción, la reproducción de las semillas y la innovación. Consecuentemente, puede ser asociado a una protección de los saberes y conocimientos asociados a los materiales genéticos puestos en libre acceso.

Cabe señalar que los recursos genéticos de los parientes silvestres de la quinua cultivada, así como, los conocimientos tradicionales asociados a las prácticas agronómicas puestas en el dominio público, se encuentran en el marco regulatorio del CDB; al respecto, el SLAS sólo involucra parcialmente a los recursos genéticos brutos y muy poco a los recursos genéticos silvestres.

Finalmente, resalta en el SLAS como en los otros sistemas, (CDB, TIRFAA, etc.), la dificultad de asegurar el seguimiento/trazabilidad de los intercambios y posterior utilización de los recursos genéticos de la quinua para garantizar su adecuado funcionamiento y el logro de sus objetivos fundacionales.

## Conclusiones

Cuestionar la gestión de los recursos genéticos apoyándose sobre el caso de la quinua conlleva a debatir una diversidad de situaciones en juego que están ligadas a la vez al origen geográfico compartido de esos recursos genéticos entre diversos países, a la dinámica actual de expansión mundial de su cultivo, como también, a sus usos potenciales múltiples.

La situación actual de los recursos genéticos, bajo la soberanía de los Estados después de la adopción de la CDB en 1992, define un marco legal particular para el acceso y los intercambios teniendo un impacto fuerte sobre la utilización y la innovación.

El Cuadro 2 muestra una síntesis sobre los marcos legales existentes tomando en cuenta los diversos aspectos tratados en el presente análisis, (Cuadro 2):

**Cuadro 2:** Síntesis de los marcos legales teniendo en cuenta diversas situaciones inherentes a los recursos genéticos.

	Identidad	Conservación	Innovación	Equidad
CDB/Nagoya				
TIRFAA				
DPI				
SLAS				
SIPAM				

*Verde: positivo; Rojo: negativo. La selección del color puede ser discutible, se representa acá a la mayoría de los actores involucrados.*

La conclusión principal de este análisis comparativo es que no existe actualmente un marco legal autosuficiente para tratar todas las cuestiones en juego inherentes a los recursos genéticos identificadas para una gestión sostenible de los mismos. Es por ello que en una lógica prospectiva, es necesario cuestionar la complementariedad de esos marcos legales, sus posibles articulaciones y posibilidades de armonización.

Diferentes instrumentos de regulación se aplican a diferentes niveles, (local e internacional), sobre objetos diferentes, (recursos genéticos, variedades y semillas, paisajes, productos derivados de la agricultura, etc.); para mejorar su eficiencia es necesario renovar las herramientas de investigación con el fin de poder llevar a cabo una reflexión sobre la integración de los diferentes aspectos en juego integrando las limitaciones de los instrumentos regulatorios.

Analizar las normas relativas a los recursos genéticos en el ámbito agrícola, particularmente en el caso de la quinua, implicará también precisar en que las diversas situaciones en juego invocadas son pertinentes para la seguridad alimentaria.

En esta óptica, la evolución de las modalidades de acceso a las semillas, las opciones de disponibilidad a crear para hacer del sector de las semillas más eficaz y adaptado a las demandas diversas de los agricultores, serán necesariamente confrontadas a un análisis de la coherencia de las políticas públicas nacionales para llegar a un mercado de semillas eficaz que responda a los diferentes

desafíos del año internacional de la quinua, entre otros principalmente: Reconocer el trabajo de los pueblos andinos en la selección y la conservación de las variedades locales de quinua, mantener y valorizar la biodiversidad de la quinua en beneficio de la seguridad alimentaria mundial y de la lucha contra la pobreza.

Llevar a cabo esta reflexión pasará forzosamente por un diálogo profundo entre todos los actores gestores, utilizadores o legisladores implicados en la gestión de los recursos genéticos de la quinua. Como se pudo mostrar, no existe una solución adaptada al conjunto de situaciones en juego y de actores, por tanto, habrá que pensar un nuevo marco legal de regulación a partir de los existentes o construir completamente uno nuevo que se basará sobre la concertación, con el fin de integrar esta diversidad de puntos de vista sobre las diferentes aspectos involucrados en la gestión de los recursos genéticos de la quinua.

## Referencias

Alary P., Bazile D., De Bélizal E., Berland S., Besson I., Boulakia S., Bureau J.C., Caillavet F., Carraud M., Chapuis R., Charvet J.P., Cogny C., Delfosse C., Deprez C., Duquenoy A., Durbiano C., Estebanez J., Griffon M., et al. (2009). Nourrir les hommes : un dictionnaire. Neuilly : Atlande, 765 p. (Références : Atlande. Géographie thématique).

Aleman, Julie, (2009). Caractérisation de la diversité des variétés et des modes de culture du Quinoa dans les communautés Mapuche du Sud du Chili. Mémoire d'Ingénieur Agronome. U. Montpellier SupAgro.



60pAndersen, 2008

Bazile D. (ed.). (2011). Agrobiodiversidad. Derechos de propiedad intelectual sobre lo vivo y el mejoramiento de especies agrícolas: Alimentación, semillas, patentes.... Santiago: Aún Creemos en los Sueños, 62 p. (Colección Le monde diplomatique, edición chilena, N°104).

Bazile D. (2012). L'agriculture peut-elle sauver la biodiversité ? *Alternatives internationales* (55) : 50-53.

Bazile D., Fuentes F. & Mujica A., (2013). Historical perspectives and domestication. In: Bhargava A. & Srivastava S. (eds). Quinoa: botany, production and uses. Chapter 2: 16-35.

Beck Ryann. (2010). Farmer's rights and open source licensing. *Arizona Journal of Environmental Law & Policy*, 1 (2), 167-217.

Buck, M., & Hamilton, C. (2011). The Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from their Utilization to the Convention on Biological Diversity. *RECIEL*: 20, 47-61.

Cassier M., (2002). Bien privé, bien collectif et bien public à l'âge de la génomique. *Revue internationale des sciences sociales*, 1 (171), 95-110.

Coase R., (1974). The lighthouse in economics. *Journal of Law and Economics*, October, 357-376.

Dedeurwaerdere T., (2004). Bioprospection, gouvernance de la biodiversité et mondialisation. De l'économie des contrats à la gouvernance réflexive. *Carnet du CPDR*, 104.

Dedeurwaerdere T., Broggiato A., Louafi S., Welch E., Batur F., (2012). Governing global scientific research commons under the Nagoya Protocol. In: *The 2010 Nagoya Protocol on Access and Benefit-sharing: Implications for International Law and Implementation Challenges* (M. Buck, E. Morgera, E. Tsoumani, eds), Brill Academic Publisher, Leiden, The Netherlands, Boston, Massachusetts, Estados Unidos.

Deibel Eric. (2013). Open Variety Rights: Rethinking the Commodification of Plants. *Journal of Agrarian Change*, 13 (2), 282-309.

Dutfield G., (2011). Food, biological diversity and intellectual property: the role of the International

Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV). Quaker United Nations Office, Global Economic Issue Publications, Intellectual Property Issue Paper no. 9, February, 24 p.

FAO. (2010). El Segundo Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 402 p.

Frey B., Jegen R., (2001). Motivation crowding theory. *Journal of Economic Surveys*, 15 (5), 589-611.

Fuentes F., Bazile D., Bhargava A., Martinez E.A. (2012). Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science*, 150 (6) : 702-716.

Fuentes F. y Bhargava A., (2011). Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197: 124-134.

Galwey N.W., (1993). The potential of quinoa as a multi-purpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and Products*, 1: 101-106.

Jacobsen, S.E., (2003). *The worldwide potential of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. *Food Rev. Int.* 19(1-2):167-177.

Goëschl T., Swanson T., (2002). The social value of biodiversity for R&D. *Environmental and Resource Economics*, 22 (4), 477-504.

Giuliani AF, Hintermann F, Rojas W, Padulosi S (2012) Biodiversity of Andean grains: balancing market potential and sustainable livelihood. Bioversity International, Rome.

Halewood M., Lopez Noriega I., Louafi S. (eds), (2012). *Crop Genetic Resources as a Global Commons*, Earthscan, London, 311-328.

Heller M.A., Eisenberg R., (1998). Can patents deter innovation? The anticommons in biomedical research. *Science*, 280 (5364), 698-701.

Kalinda François-Xavier, (2010). La protection des indications géographiques et son intérêt pour les pays en développement. Thèse de doctorat en droit, Université de Strasbourg, 451 pages.

Kloppenburg Jack. (2010). Impeding Dispossession, Enabling Repossession: Biological Open Source and

the Recovery of Seed Sovereignty. *Journal of Agrarian Change*, 10 (3): 367-388.

Mujica, A. (2004) La quínoa Indígena, Características e historia. In: La Kinwa Mapuche, Recuperación de un Cultivo para la Alimentación (Eds J. Sepúlveda, M. Thomet I., P. Palazuelos F. & A. Mujica), pp. 22–42. Temuco, Chile: Fundación para la Innovación Agraria. Ministerio de Agricultura.

Mujica A, Jacobsen S-E, Izquierdo J, Marathe, (2001). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*, FAO-RLC Santiago de Chile, UNA-Puno, CIP.

National Research Council (NRC), (1989). *Lost Crops of the Incas: Little Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. National Academy Press, Washington, DC, pp. 148–161.

OMPI (2013). <http://www.wipo.int>

PROINPA (2011) “Quinoa, an ancient crop to contribute to world food security”. Technical report. 37th FAO Conference.

[http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/cultivo\\_quinoa\\_en.pdf](http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/cultivo_quinoa_en.pdf). Accessed 4 Oct2013

Risi, J. & N.W. Galwey. (1984). The Chenopodium grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Adv. Appl. Biol.* 10: 145-216.

Ruiz-Carrasco, K., Antognoni F., Coulibaly A.K., Lizardi S., Covarrubias A., Martínez E.A., Molina-Montenegro M.A., Biondi S., Zurita-Silva A. (2011). Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiol Biochem* 49, 1333-1341.

Ruiz K.B., Biondi S., Oses R., Acuña-Rodríguez I.S., Antognoni F., Martínez-Mosqueira E.A., Coulibaly A., Canahua-Murillo A., Zurita A., Bazile D., Jacobsen S.E., Molina Montenegro M. 2014. Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for sustainable development*, 34 (2): 349-359. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0>

Shapiro C., (2000). Navigating the patent thicket: cross licenses, patent pools, and standard-setting. In: *Innovation Policy and the Economy* (A. Jaffe, J. Lerner, S. Stern, eds), MIT Press, Cambridge, 119-150

Swanson T., Goëschl T., (2000). Property rights

issues involving plant genetic resources: implications of ownership for economic efficiency. *Ecological Economics*, 32 (2000), 75-92.

Thomet M., Aleman J., Bazile D., Pham J.L. (2010). Impactos de la redefinición del concepto de *Trafkintü* sobre la diversidad de variedades de quínoa cultivadas por agricultores mapuches en cuatro comunas de la región de la Araucanía del sur de Chile. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geograficas* : 244-249.

Trommetter M., (2011). Organización de la investigación y derecho de propiedad intelectual en las biotecnologías agrícolas: los desafíos para el innovador. En: Bazile Didier (ed.). *Agrobiodiversidad. Derechos de propiedad intelectual sobre lo vivo y el mejoramiento de especies agrícolas: Alimentación, semillas, patentes....* Santiago: Aún Creemos en los Sueños, p. 17-25.

Trommetter M. (2012). Empresas transnacionales y Estados: ¿cómo elaborar una política de propiedad intelectual en las biotecnologías agrícolas? In: Bazile Didier (ed.). *Globalización y Medio Ambiente*. Santiago: Aún Creemos en los Sueños, p. 37-46.

UNESCO (2013). <http://whc.unesco.org/en/culturallandscape/>

[1] ADPIC, Parte II, Tercer acápite relativo a las Indicaciones Geográficas.

[2] Por ejemplo, ciertos países como los Estados Unidos de Norteamérica o Sudáfrica no tienen ninguna legislación particular para la protección de las denominaciones geográficas, las mismas que pasan entonces por otros mecanismos como son la protección de los consumidores, las marcas o la lucha contra la falsificación, a través de la usurpación de una denominación, (passing off: Kalinda, 2010).

[3] *Open Source Seed License* – OSSL citado por K. Aoki en “Free seeds, not free beer”: Participatory plant breeding, Opensource seeds, and acknowledging user innovation in agriculture, 77 *Fordham L. Rev.* 2275 (2009). <http://ir.lawnet.fordham.edu/flr/vol77/iss5/9>

[4] El *copyleft*, es un método general para hacer un programa libre, (u otro tipo de trabajo), exigiendo que todas las versiones modificadas y extendidas del mismo sean también libres. Concepto creado por Richard Stallman en 1983.

## CAPÍTULO 1.7.

# TÍTULO: LOS PAGOS VOLUNTARIOS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE LA QUINUA: EXPLORANDO EL PAPEL DE LOS PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LOS ANDES

\*Autor para correspondencia: Unai PASCUAL <unai.pascual@bc3research.org>

## Autores:

ADAM G. DRUCKER<sup>a</sup>, UNAI PASCUAL<sup>\*bcd</sup>, ULF NARLOCH<sup>b,e</sup>, ESTELLE MIDLER<sup>c</sup>, JOSÉ LUIS SOTO<sup>f</sup>, MILTON PINTO<sup>g</sup>, ENRIQUE VALDIVIA<sup>f</sup>, WILFREDO ROJAS<sup>g</sup>

<sup>a</sup> Bioversity International, Roma, Italia

<sup>b</sup> Universidad de Cambridge, Departamento de Economía de la Tierra, Cambridge, Reino Unido

<sup>c</sup> Centro Vasco para el Cambio Climático (BC3), Bilbao, España

<sup>d</sup> IKERBASQUE, Fundación Vasca para la Ciencia, Bilbao, España

<sup>e</sup> Banco Mundial<sup>1</sup>, Washington, EE.UU.

<sup>f</sup> Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Puno, Perú

<sup>g</sup> Fundación Promoción e Investigación de Productos Andinos, La Paz, Bolivia

## Resumen:

El cultivo de la quinoa en el Altiplano se ha vuelto más orientada al mercado en relación con su papel tradicional como un cultivo de subsistencia. Esto ha resultado en la creciente marginación de muchas variedades locales de quinoa y, por lo tanto, una pérdida de la diversidad de la misma. Desde una perspectiva económica, el mantenimiento de niveles socialmente deseables de agrobiodiversidad requiere de la implementación de mecanismos que proporcionen a los agricultores el incentivo de conservar estas variedades locales de quinoa. Los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) son uno de tales mecanismos, pero, hasta ahora, no han sido desarrollados en el contexto de la conservación de la agrobiodiversidad. Por lo tanto, el objetivo de este capítulo es analizar el potencial de los instrumentos

de Pagos por Servicios de Conservación de la Agrobiodiversidad (PACS por sus siglas en inglés), en particular en el contexto del cultivo de la quinoa. El impacto de los diferentes enfoques de tipo PSA en la conservación de la diversidad de la quinoa (costo-efectividad) es analizado junto a sus interacciones con la acción colectiva. En particular, el capítulo se centra en dos tipos de sistemas de recompensa: licitaciones públicas y pagos de precio fijo. Los temas claves abordados se relacionan con el diseño de estos PSAs, así como el efecto del contexto sobre la eficacia de los mismos. Los experimentos se llevaron a cabo en dos sitios de estudio: un sitio en Perú donde los sistemas agrícolas son principalmente de subsistencia y un sitio en Bolivia donde los sistemas agrícolas se comercializan más para permitir una comparación entre contextos de mercado. Los resultados muestran que:

Los objetivos de conservación y las normas de focalización elegidas para la licitación pública condicionan significativamente el rendimiento del sistema y, como tal, las compensaciones

<sup>1</sup> "The findings, interpretations, and conclusions expressed in this paper are entirely those of the authors. They do not necessarily represent the views of the International Bank for Reconstruction and Development/World Bank and its affiliated organizations, or those of the Executive Directors of the World Bank or the governments they represent".

entre costo-efectividad y equidad.

La forma en que un pago de precio fijo está diseñado impacta en el comportamiento de los agricultores y por lo tanto en el resultado de conservación.

Los pagos de precio fijo tienen impactos diferentes en función del contexto del mercado y de las instituciones de acción colectiva existentes.

### Introducción.

La décima reunión de la Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), celebrada en Nagoya (Japón) en 2010 adoptó un nuevo Plan Estratégico para la Diversidad Biológica incluyendo las *20 Metas de Aichi para la Diversidad Biológica*, una de las cuales (Meta 13) destaca la importancia de la conservación de la biodiversidad en los paisajes agrícolas (<http://www.cbd.int/sp/targets>). La biodiversidad agrícola (en adelante, la agrobiodiversidad) es la base de la supervivencia humana y el bienestar, lo que contribuye de manera importante a la agricultura sostenible, la seguridad alimentaria y una amplia gama de servicios ambientales.

A pesar de esto, la diversidad a nivel de ecosistema, especie y genética sigue perdiéndose a un ritmo acelerado en muchos sistemas productivos en todo el mundo, lo que conduce a la vulnerabilidad y erosión genética (entre otros, FAO, 2009). Con la creciente comercialización e industrialización de los sistemas agrícolas, en particular como resultado de la Revolución Verde, los agroecosistemas se caracterizan cada vez más por un alto nivel de intensificación con bajos niveles de diversidad (Thrupp 2000; Jackson *et al.* 2007). Esto se debe principalmente a que una amplia gama de recursos genéticos locales de plantas y animales (RGAP) está siendo reemplazada por unos pocos comercialmente rentables, ya que los mercados tienden a crear una tendencia hacia esto último por no captar plenamente el valor económico total de la agrobiodiversidad, debido a las características de bienes públicos de muchos de sus servicios (Drucker *et al.* 2005; Narloch *et al.* 2011a).

Los campesinos de los Andes tienen una larga historia en la agricultura, que se remonta a casi 7.000 años, y que se utiliza para gestionar una

gran diversidad en los cultivos alimentarios tradicionales, como el maíz, la papa y la quinua. Sin embargo, se ha observado una disminución de la utilización de algunos cultivos tradicionales en la región (véase, por ejemplo, Velásquez-Milla, 2011). Existe una creciente demanda de cultivos de menor importancia de países en desarrollo por los consumidores en países industrializados que tratan de satisfacer gustos específicos, mejorar la nutrición o contribuir al desarrollo rural. Por ejemplo, la quinua está siendo anunciada como un cultivo orgánico de comercio justo, así ganando popularidad entre los consumidores de todo el mundo occidental. Por lo tanto, el cultivo de la quinua en el Altiplano se ha vuelto más orientado al mercado en relación con su papel tradicional como un cultivo de subsistencia. Esto ha resultado en la creciente marginación de muchas variedades locales de quinua y una pérdida continua de conocimientos agrícolas tradicionales (Canahua *et al.* 2002; Laguna 2002; Rojas *et al.* 2004, 2009).

Se espera que la pérdida de la agrobiodiversidad tenga consecuencias de largo alcance, especialmente en los medios de vida de las comunidades agrícolas indígenas pobres (Gruère *et al.*, 2009). Tales comunidades juegan un papel clave en la conservación de especies, variedades o razas con caracteres adaptativos únicos (por ejemplo, resistencia a enfermedades, tolerancia a la sequía) desarrollados durante miles de años de domesticación en una amplia gama de entornos. Al mismo tiempo, la conservación y uso de la agrobiodiversidad proporciona una mezcla de beneficios privados para el agricultor (por ejemplo, a través de sus valores, en gran parte privado, de uso directo), beneficios públicos locales a la comunidad de agricultores (por ejemplo, a través de sus valores de uso indirecto, como contribuir a la gestión de riesgos, la resiliencia del agroecosistema, el mantenimiento de la calidad del suelo y el agua, el mantenimiento de los conocimientos indígenas y las prácticas socio-culturales) y los beneficios públicos nacionales y mundiales (por ejemplo, el mantenimiento de los procesos evolutivos y de los valores de opción, así como los valores de no-uso, tales como los valores de existencia). Los valores de seguro desempeñan un papel en la contribución a la estabilidad ecológica y la resiliencia (Baumgartner, 2007), mientras que los valores de opción permiten



el mantenimiento de los recursos materiales y de conocimientos (Bellon, 2008). Como los mercados capturan sólo una parte del valor de estos recursos, subestimando así su valor real (Gruère et al. 2009), resulta en distorsiones cuando las compensaciones que deben hacerse entre el crecimiento y la conservación de la biodiversidad tienden a favorecer al primero, sin tener en cuenta la tasa de desaparición de este último (Pearce y Moran, 1994; Drucker, 2007).

### **Agrobiodiversidad y acción colectiva.**

El carácter de bien público impuro de los recursos de la agrobiodiversidad ha llevado a muchas comunidades campesinas a hacer uso de las instituciones de acción colectiva con el fin de gestionar de manera colectiva los PAGR e insumos complementarios (por ejemplo, tierra) (Eyzaguirre y Dennis, 2007). Ostrom (1990) ha demostrado que, en determinadas condiciones, las comunidades rurales son capaces de auto-organizarse con el fin de gestionar los recursos naturales para alcanzar objetivos comunes; mientras que, entre otros, Nagarajan et al. (2008) proporcionan un ejemplo concreto de cómo los esfuerzos colectivos de los grupos de productores han tenido un impacto positivo en la conservación de mijo menor en la India.

En el contexto agroecológico del Altiplano Andino, un interesante ejemplo de la acción colectiva está asociado con las prácticas de rotación de cultivos tradicionales llevadas a cabo en las tierras de la comunidad, conocidas como *Suyo*. Un grupo de agricultores - a veces toda la comunidad - decide colectivamente en que parcelas dentro de un área comunal de tierra ha de ser plantada cierta especie de cultivo. Cada agricultor gestiona individualmente su pedazo de tierra de acuerdo con estas decisiones a nivel de grupo (Canahua et al. 2002). En apoyo de estas fuertes instituciones de acción colectiva, las comunidades del Altiplano han desarrollado formas complementarias de co-manejo de sus sistemas agrícolas, por ejemplo mediante el intercambio de mano de obra, germoplasma y equipos agrícolas (VSF 2009). Por otra parte, muchos agricultores se han organizado para recibir asistencia técnica y participar en mercados.

### **Instrumentos para la conservación de la biodiversidad de la quinua: los Pagos por Servicios Ambientales.**

Cabe preguntarse si las instituciones de acción colectiva son suficientes para hacer frente a la pérdida de la biodiversidad de la quinua inducida por la creciente demanda mundial por un conjunto limitado de variedades de quinua. Desde una perspectiva económica, el mantenimiento de niveles socialmente deseables de la biodiversidad agrícola requiere que, donde existan importantes valores de bien público, estos deban ser reconocidos y los mecanismos puestos en marcha para permitir la “captura” de esos valores por los agricultores que incurren en los costos de conservación. Tales mecanismos podrían ofrecer a los agricultores un incentivo para conservar aquello que beneficia a la sociedad en general. Mientras que los esquemas de “Pagos por Servicios Ambientales” (PSA) son uno de esos mecanismos y se han considerado por algunos observadores como “sin duda, la innovación más prometedora en la conservación desde Río 1992” (Wunder, 2005), no ha habido casi ninguna consideración explícita de los PSA en el contexto de la conservación de la agrobiodiversidad y solamente una consideración limitada de los contextos campesinos indígenas (Narloch et al., 2011a).

Los llamados “Pagos por Servicios de Conservación de la Agrobiodiversidad” (PACS), una subcategoría de los PSA relacionados con la agricultura (véase Narloch et al. 2011a), tratarían de hacer frente a las distorsiones de precios de mercado asociados a las características de bien público de la diversidad genética. Esto se puede lograr mediante el uso de mecanismos de recompensa (monetarios o en especie) para aumentar los beneficios privados de PAGR locales a fin de sostener su utilización en las explotaciones agrícolas. Existe una hipótesis de que los beneficios asociados con los instrumentos PACS pueden ser diseñados de tal manera que se creen incentivos para actuar colectivamente con el fin de contribuir a la meta de conservación y recibir recompensas. Por el contrario, también es posible que si no son diseñados adecuadamente, los sistemas de PACS podrían socavar las instituciones existentes de acción colectiva en las comunidades campesinas. Por lo tanto, los sistemas de PSA deben ser estudiados y diseñados cuidadosamente

antes de ser puestos en práctica, para que sean ecológicamente eficaces, económicamente eficientes, y socialmente justos.

### Foco de la Investigación.

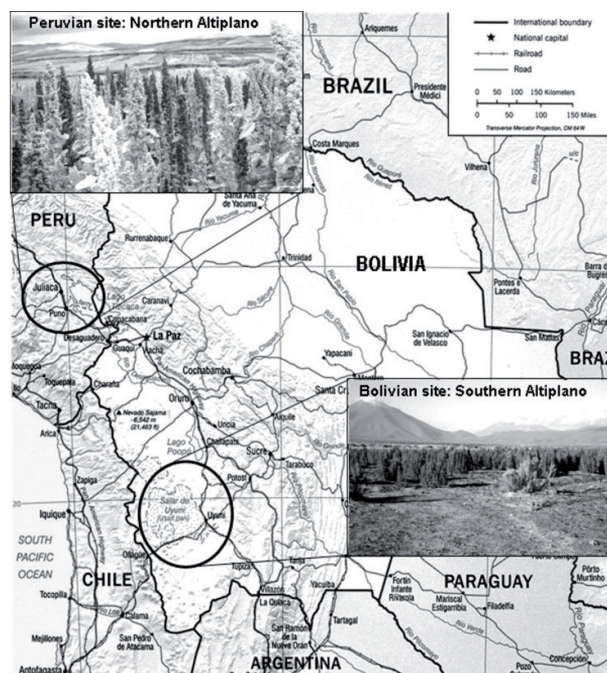
En este capítulo se analiza el impacto de los diferentes enfoques de tipo PSA en la conservación de la agro-biodiversidad de la quinua (costo-efectividad) y se exploran sus interacciones con la acción colectiva. En particular, se centra en dos tipos de sistemas de recompensa: subastas públicas de conservación y pagos fijos. Se informa sobre los resultados de dos estudios experimentales llevados a cabo con campesinos andinos entre 2010 y 2012. En el primero, se implementa una licitación de conservación a través de la cual los grupos de base comunitaria (GBC) postulan a los contratos de conservación mediante la definición de sus condiciones de participación (incluyendo el nivel de pago requerido) para proporcionar a los agricultores incentivos para proteger la agrobiodiversidad. En el segundo, se llevan a cabo experimentos de campo enmarcados en los que los agricultores toman decisiones hipotéticas en relación al cultivo de diferentes variedades de quinua, para así probar la eficacia de los diferentes tipos de pagos a precio fijo para la conservación de la agrobiodiversidad local.

Los temas clave abordados en el presente capítulo se relacionan con el diseño de estos PSAs, así como el efecto del contexto sobre la eficacia de los PSA. En particular, se centra en las siguientes cuestiones:

- ¿Cómo se deben diseñar los esquemas de licitación para ofrecer incentivos a los agricultores para que actúen colectivamente y emprender acciones de conservación de la agrobiodiversidad entendida como un bien público?
- ¿Los pagos fijos (recompensas) deben ser colectivos o individuales? ¿Y cómo se deben compartir los pagos colectivos dentro de las comunidades?
- ¿Las recompensas tienen el mismo impacto en diferentes contextos?

Los experimentos se llevaron a cabo en dos lugares de estudio - un caso de estudio en Perú donde los sistemas agrícolas son principalmente de subsistencia y un caso de estudio en Bolivia donde los sistemas agrícolas se comercializan más - para

así permitir una comparación entre diferentes contextos de mercado (se muestran ambos sitios en la figura 1).



**Figura 1:** Lugar de los casos de estudio en Bolivia y Perú en el Altiplano Andino.

### Licitaciones públicas para la conservación de la agrobiodiversidad.

Esta sección investiga el potencial de las licitaciones públicas para conservar la biodiversidad de la quinua mediante experimentos de campo enmarcados. En particular, se centra en: (i) ¿Cómo deben ser focalizadas y cómo la focalización impacta en la equidad, (ii) ¿Qué tipo de fijación de precios se debe utilizar? (discriminatoria versus uniforme).

### Antecedentes sobre licitaciones públicas.

Las licitaciones públicas se utilizan para asignar los contratos de conservación a aquellos usuarios de la tierra que puedan proporcionar servicios de conservación al menor costo y por lo tanto requerirían pagos de compensación más bajos. Este tipo de licitación inversa es un medio por el cual se puede abordar la existencia de asimetrías de información (Ferraro, 2008). Debido al proceso competitivo los agricultores tienen un incentivo para presentar ofertas para contratos cercanos al costo de oportunidad real (Latacz-Lohmann y van der

Hamsvoort 1997).

En general, las licitaciones de conservación han demostrado ser más eficientes en la generación de servicios de conservación que los programas de precio fijo, donde se ofrece un precio uniforme para una actividad de conservación pre-definida. Dicho esto, los costos de transacción de llevar a cabo licitaciones de conservación pueden ser relativamente altos, ya que el organismo de conservación tiene que coordinar la convocatoria, la recepción de ofertas, la selección, contratación, verificación y entrega de los pagos a un número de - posiblemente dispersos - usuarios de la tierra. Sin embargo, trabajando con grupos de usuarios de la tierra se pueden reducir estos costos de transacción y fomentar las habilidades de auto-organización de las comunidades. Por otra parte, los enfoques a nivel de grupo pueden ser más apropiados en contextos donde el uso del suelo se basa en el derecho consuetudinario establecido en tierras comunitarias a las que un grupo más grande de usuarios tiene acceso.

Hay un número creciente de ejemplos de licitaciones de conservación a través de las cuales los agricultores postulan a los pagos de compensación para reservar tierras para fines de conservación (Latacz-Lohmann y Schilizzi, 2005). A pesar de su potencial para informar sobre la focalización de los pagos por conservación mediante la estimación de los posibles resultados ambientales y sociales a priori, hay una aplicación muy limitada de los enfoques de licitación como parte de los programas de PSA en los países en desarrollo (Jack *et al.* 2009). En esta sección se presentan los resultados de una licitación implementada en los Andes y se proporciona información detallada sobre la forma en que las licitaciones de conservación deben ser diseñadas.

### **La ejecución del proyecto.**

Se llevó a cabo un proceso de licitación de conservación de la agrobiodiversidad a nivel de grupo para la adjudicación de contratos y pagos/recompensas tipo PACS a grupos organizados en comunidades campesinas (GBC). Se basó en un enfoque de subasta inversa (ver Latacz-Lohmann y Schilizzi 2005) de primer precio (es decir los GBC podían preparar una sola oferta) y de oferta sellada (es decir los GBC no conocerían las ofertas de la competencia). Se convocó a representantes de 18 GBC bolivianos y 20 GBC peruanos a presentar

propuestas para la conservación de las variedades locales de prioridad previamente identificadas. Los GBC convocados eran de cuatro distritos bolivianos y cinco distritos del Perú a fin de cubrir diferentes zonas dentro de los dos sitios de estudio. En la licitación boliviana la atención se centró en las comunidades con una larga historia en el cultivo de la quinua y en la licitación peruana se convocaron a los grupos productivos basados en la quinua.

Entre marzo y mayo de 2010 los GBC interesados en participar en la licitación recibieron el apoyo de expertos locales en extensión para la preparación de sus ofertas, después de un proceso de consulta con los representantes de los GBC. La oferta final debía señalar los siguientes aspectos para cada una de las variedades locales prioritarias elegidas: (i) la superficie total reservada para la conservación, (ii) el número de agricultores a participar en la actividad de conservación y (iii) el precio/compensación requerida por el grupo por unidad de tierra de conservación. También se les pidió a los GBC su modo de participación preferente, pudiendo elegir entre aceptar los contratos de conservación sólo si se seleccionan todas sus ofertas de licitación para las distintas variedades locales (participación condicional); y la aceptación de los contratos de conservación para cualquiera de sus ofertas que resultaran seleccionadas (participación parcial).

Se comunicó a los GBCs que los pagos se harían en especie y los representantes podían elegir libremente su tipo de pago en especie, tales como, entre otras cosas, equipos o insumos agrícolas (por ejemplo semillas), de construcción o escolar. Los GBC participantes fueron informados de que los ganadores serían seleccionados sobre la base del “valor de la oferta”, es decir, aquellos que podrían ofrecer el mayor servicio de conservación en términos de superficie y número de agricultores por costo de conservación. Se recibieron ofertas de 13 GBC peruanos y 12 GBC bolivianos.

### **Focalización y diseño de la licitación.**

La focalización de los pagos determina los resultados distributivos, es decir, quien recibe qué cantidad para qué. Muchos autores han destacado el potencial del PSA como un instrumento de usos múltiples, con su diseño guiado por motivaciones diferentes, tales como la reducción de la pobreza y las desigualdades locales (véase, por ejemplo Grieg-Gran *et al.* 2005). Sin



embargo, ya que es ampliamente argumentado que el PSA debe tener su principal énfasis en los objetivos de conservación (Wunder 2007), puede ser necesario sacrificar metas socialmente deseables o incluso que las desigualdades existentes sean exacerbadas (véase Corbera *et al.* 2007a, 2007b). No obstante, enfocar los pagos solamente en base a la eficiencia, haciendo caso omiso de las consideraciones de equidad en la distribución de los pagos, puede erosionar la legitimidad y la sostenibilidad de este tipo de intervenciones, por lo que los objetivos sociales y de conservación se entrelazan (Pascual *et al.* 2010; Muradian *et al.* 2010). En consecuencia, las consideraciones de equidad son extremadamente relevantes en la creciente aplicación de PSAs en comunidades que comparten fuertes normas de justicia. Basándose en los datos de las licitaciones de conservación de la agrobiodiversidad, una serie de enfoques de focalización son evaluados en cuanto a su costo-efectividad en función de diferentes objetivos de conservación, así como su impacto sobre la equidad.

Narloch *et al.* (2011b) clasificaron las ofertas con respecto a su costo-efectividad en función de tres objetivos de conservación: (i) *superficie* de tierra cultivada bajo una variedad local prioritaria específica como indicador indirecto de la producción de semillas y el mantenimiento de la diversidad genética en el campo, (ii) el número de *agricultores* conservando estas variedades locales, como indicador indirecto del mantenimiento del conocimiento agrícola local y las tradiciones culturales y (iii) el número de *GBC* participantes como indicador indirecto del mantenimiento de las redes de intercambio de semillas informales y, por lo tanto, el flujo de genes entre las comunidades. También se consideraron las clasificaciones combinadas, con una ponderación del 40% para las clasificaciones de (i), el 40% para las clasificaciones de (ii) y el 20% para las clasificaciones de (iii) que resultaran ser las que mejor lograran una solución que a su vez permitiera un balance entre la superficie de conservación, los agricultores y los GBC.

Para la selección de ofertas, se implementó un proceso iterativo para cada uno de los enfoques de focalización bajo consideración, en el cual se seleccionaron las ofertas mejor clasificados por variedad local, mientras que se buscaba distribuir los fondos de conservación entre las variedades locales

de la manera más equitativa posible, hasta que no pudieran seleccionarse más ofertas sin exceder el presupuesto de \$ 4000 dólares de EE.UU. Este proceso de selección puede estar sujeto a normas de focalización alternativas, que pueden incorporar diferentes principios de equidad, como se explica en Narloch (2011). En primer lugar, se puede aplicar una regla de fijación de precios discriminatoria, bajo la cual el pago por unidad de tierra es igual al precio de la oferta indicada, que puede variar entre los GBC. En línea con el principio de proporcionalidad, los grupos serían compensados por los gastos que incurran en el marco del programa de conservación. En segundo lugar, se puede aplicar una regla de fijación de precios uniforme, de modo que cada GBC seleccionado recibiría un pago de acuerdo con el precio de oferta más alto aceptado por variedad local (según Ferraro 2008). Este principio de no-discriminación sería pertinente donde los usuarios de recursos locales consideren como altamente injusto que se realicen pagos diferenciados para la provisión de áreas de conservación con superficies iguales.

Mientras que estos dos enfoques asumen una participación parcial como resultado de una evaluación de las ofertas para las distintas variedades locales, variedad por variedad, se puede aplicar un tercer enfoque que permite considerar el modo de participación preferente definido por los GCB. Dónde los GCB indicaron condiciones de participación condicional, sus ofertas de licitación para las distintas variedades locales deben ser evaluadas como un paquete. Este enfoque puede ser considerado en concordancia con los principios de equidad asociada al proceso participativo, por lo que los grupos establecen sus propias condiciones de participación.

La combinación de los cuatro objetivos de conservación y tres normas de focalización mencionadas se traduce en un conjunto de 12 diferentes enfoques de focalización. La superficie del área de conservación, el número de agricultores, y el número de GBC sirven como indicadores indirectos de la entrega de la prestación de servicios específicos de conservación; como se explica más arriba, todos ellos miden el costo-efectividad en términos de sus objetivos de conservación subyacentes (ver Narloch *et al.* 2011b). Al mismo tiempo, el número de agricultores beneficiarios representa el colectivismo según fundado en el principio de los bienes comunes, mientras que el número de GBC beneficiarios medirá



la capacidad integradora del esquema en un contexto en que los GBC han incurrido en tiempo y esfuerzo para preparar sus ofertas y, por lo tanto, pueden sentir que es injusto si no reciben compensación alguna (véase Narloch 2011). Además de eso, el índice de Gini mide la desigualdad en la distribución de los pagos. Por lo tanto, las cuatro variables de indicadores de desempeño utilizados representan tres criterios diferentes de costo-efectividad y tres principios de equidad.

### Resultados.

Los resultados de las ofertas recibidas identifican compensaciones (*trade-off* en inglés) significativas de costo-efectividad entre los objetivos alternativos de conservación de la agrobiodiversidad y sus asociados servicios de conservación. Parece haber una relación no complementaria entre maximizar la superficie del área de conservación y el número de agricultores trabajando en la conservación, ya que los enfoques focalizados por superficie se traducirían en un número significativamente menor de agricultores y vice-versa. Ni la selección en base a la superficie ni en base a los agricultores estaría estrechamente relacionada con la maximización del número de grupos beneficiarios. La optimización de costo-efectividad con respecto a la superficie del área de conservación o el número de agricultores también se asocia con una distribución muy desigual de los pagos. Otras compensaciones también pueden ser identificadas cuando se toman en cuenta consideraciones de equidad, es decir, aquellos entre eficiencia y equidad (Narloch et al. 2011b).

En general, parece que las normas de focalización que contemplan la fijación de precios uniformes o el modo de participación preferente tienen un desempeño inferior en relación a las normas de precios discriminatorios. Esto es porque los dos primeros suponen una restricción obligatoria de la focalización de pagos, con la cual generalmente un número menor de GBC se vería beneficiado (y por lo tanto menos agricultores), por lo que la distribución de los pagos sería altamente desigual y las superficie alcanzable del área de conservación sería menores, como explica Narloch (2011). Esto implicaría que el costo-efectividad debe compensarse con principios no discriminatorios o de equidad sobre el procedimiento participativo, además de los principios de equidad basados en el colectivismo, la inclusión y la igualdad (Narloch 2011).

Como resultado de ello, los objetivos de conservación y las normas de focalización consideradas en el proceso de focalización condicionarían significativamente el rendimiento del sistema y, como tal, las compensaciones de costo-efectividad y equidad. Los enfoques de focalización basados en los objetivos combinados y normas de fijación de precios discriminatorias (que reflejan los principios de proporcionalidad) no sólo darían lugar a una distribución más equitativa de los pagos y un número relativamente más alto de GBCs y de agricultores participando en las actividades de conservación, sino que además sólo estarían relacionado con pérdidas de eficiencia modestas en términos de superficie de conservación.

### Pagos de precio fijo para la conservación de la agrobiodiversidad.

Esta sección investiga el potencial de los pagos o recompensas fijas para conservar la biodiversidad de la quinua mediante experimentos de campo. En particular, se centra en: (i) si los diferentes contextos afectan la eficacia de las recompensas, y (ii) el efecto de cada tipo de recompensa en la conservación, la acción colectiva y cómo interactúan con las preferencias sociales.

### Antecedentes sobre los experimentos de campo

Ha sido ampliamente reconocido que a menudo los usuarios de recursos no se comportan de una forma económicamente racional cuando se enfrentan a los dilemas sociales, por lo que la teoría neoclásica que predice un comportamiento puramente de *homo economicus* falla, y los académicos necesitan mirar más allá (Gintis 2000; Henrich et al. 2001; Anderies et al. 2011). Los economistas que analizan el comportamiento individual y social han aplicado experimentos basados en la teoría de juegos en los que los participantes toman decisiones hipotéticas frente a diferentes escenarios de compensaciones. Un experimento de campo 'enmarcado' es un experimento de laboratorio convencional con el grupo de sujetos relevante, que se lleva a cabo dentro de un contexto real de campo, ya sea en relación a las tareas o el conjunto de información a disposición de los sujetos (Harrison y Lista 2004). Estos tipos de datos experimentales proporcionan una visión de las preferencias sociales respecto a los beneficios individuales y de grupo, y por lo tanto, de la dinámica del comportamiento de las personas.

En particular, la aplicación de experimentos de campo enmarcados puede proporcionar información valiosa sobre las múltiples escalas (nivel de individuo, grupo e incentivos) relevantes para la comprensión de la acción colectiva en la conservación (Cárdenas y Ostrom 2004) y las vías por las cuales el comportamiento de conservación se ve afectado por instituciones externas. Para obtener información sobre las preferencias de las personas y la toma de decisiones en contextos de recursos y grupos reales, se necesita investigación en contextos de campo reales (Cárdenas 2000; Vélez *et al.* 2010). Hay una creciente bibliografía que analiza el comportamiento cooperativo en la gestión de los recursos naturales en experimentos de campo enmarcados realizados en países en desarrollo (Cárdenas y Carpenter 2008), pero hasta ahora no había sido aplicada en el contexto de la conservación de la agrobiodiversidad.

### Diseño experimental y protocolo.

Se llevaron a cabo dos series de juegos experimentales de campo en Perú y Bolivia entre 2010 y 2012. Los Juegos en la Fase I tuvieron lugar en Perú y Bolivia entre febrero y abril de 2010. Los juegos fueron diseñados para analizar el impacto de dos sistemas de recompensa en la conservación y su interacción con las preferencias sociales de los agricultores. Los resultados nos llevaron a realizar una segunda serie de experimentos en Perú en septiembre de 2012 (Juegos de Fase II), con el objetivo de estudiar tanto la solidez de los resultados anteriores como un tercer tipo de recompensa para entender mejor de qué manera las recompensas pueden conducir a acciones colectivas. Narloch *et al.* (2012) presenta el diseño experimental completo y los resultados. .

El juego de bienes públicos (impuros) se enmarcó en torno a las decisiones entre diferentes variedades de quinua (Narloch 2011). Cada participante del juego forma parte de un grupo de cuatro jugadores y dispone de un número de unidades de tierra (4). En cada una de las doce rondas del juego los participantes decidieron el número de unidades de tierra a ser asignadas a la conservación de una variedad de quinua amenazada. Como los precios de mercado para esta variedad son inferiores a los de una variedad comercial, el agricultor tiene que incurrir en gastos privados de conservación equivalentes a 10 puntos. Sin embargo, el cultivo de la variedad amenazada está asociado con beneficios para la conservación pública de 4 puntos

que se acumulan para cada miembro del grupo una vez que se alcanza un cierto umbral (en este caso definido como la conservación de siete unidades de tierra por el grupo en total). Se jugaron seis rondas de este juego de base antes de la introducción de incentivos económicos para la conservación, y seis rondas adicionales con uno de los siguientes nuevos aspectos en el juego:

- Una recompensa individual: cada agricultor recibe 4 puntos más por cada una de sus unidades de tierra asignada a la conservación,
- Una recompensa igualitaria colectiva: cada agricultor recibe 1 punto más por cada unidad de tierra asignada a la conservación por cualquier miembro del grupo, si se alcanza el umbral. Esta recompensa corresponde a una recompensa de grupo compartida por igual dentro del grupo, sin consideración de los esfuerzos individuales.
- Una recompensa proporcional colectiva: cada agricultor recibe 4 puntos más por cada una de sus unidades de tierra asignadas a la conservación, si se alcanza el umbral. Esta recompensa corresponde a una recompensa de grupo compartida de manera proporcional a los esfuerzos individuales. Por ello, las dos recompensas colectivas difieren en la forma en que son compartidas entre los agricultores.

El monto de cada recompensa fue determinado de manera que fueran equivalentes desde el punto de vista presupuestario.

El óptimo social, es decir, donde se maximizan los beneficios totales del grupo, se alcanza cuando todos los miembros del grupo asignan todas sus unidades de tierra hacia la conservación. Sin embargo, surge un dilema social debido al incentivo privado de los participantes de no conservar y aprovecharse de los demás. Sólo sería racional conservar una o dos unidades de tierra con el fin de alcanzar el umbral (y de esta manera pasar de una situación sin beneficios públicos a una situación en que todos reciben 4 x 7 puntos) si se espera que los compañeros del grupo destinen un cierto número de unidades de tierra a la conservación. Con recompensas externas, el conjunto de estrategias privadas óptimas incluiría la conservación de más unidades de tierra en función

de las expectativas de comportamiento de los demás, pero no habría una estrategia dominante que permitiera alcanzar el óptimo social. Luego se evaluó la eficacia de cada una de las recompensas y la comunicación mediante el análisis de la diferencia en el nivel de conservación entre la parte 1 y la parte 2 del juego.

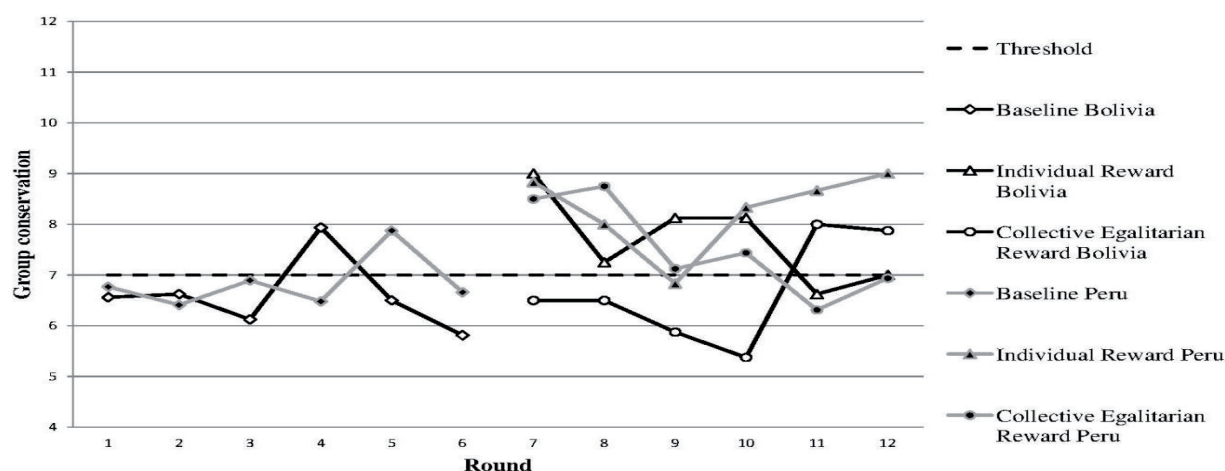
Se organizaron cuatro sesiones de juegos experimentales en Bolivia y 14 en Perú. Cada sesión fue organizada con 16 a 20 participantes de hogares de explotaciones agrícolas basados en la quinua en las mismas comunidades o comunidades vecinas, seleccionados de diferentes áreas dentro de los dos sitios de estudio a fin de maximizar

la representatividad de la muestra. Tras el juego experimental se completó una breve encuesta con preguntas sobre la demografía del hogar, el cultivo de la quinua, así como la afiliación organizativa y conexiones informales entre los hogares.

## Resultados.

### *Efecto del contexto en el nivel de conservación.*

La Figura 2 muestra la contribución promedio del grupo durante las 12 rondas, diferenciados por país y por el tipo de recompensa (individual o colectiva igualitaria). Recordemos que las primeras 6 rondas son de un juego base, idéntico para todos los juegos experimentales en cada comunidad, independientemente del tratamiento siguiente.



**Figura 2:** Contribución promedio por grupo durante las 12 rondas, diferenciados por país y el tipo de recompensa

El comportamiento observado en los juegos indica que los agricultores están dispuestos a conservar una cierta proporción de sus unidades de tierra y por lo tanto cooperar con fines de conservación de la agrobiodiversidad, como puede verse en la figura 2.. En general, parece que, en términos de conservación, los grupos peruanos superan a sus contrapartes en Bolivia.

Un análisis empírico más profundo (ver Narloch et al. 2012 y Narloch 2011: Capítulo 5) proporciona una fuerte evidencia de que la orientación al mercado disminuye significativamente la probabilidad del cultivo de variedades de quinua no comerciales en los dos sitios. Esto apoya la hipótesis de que la creciente comercialización resulta en niveles más bajos de conservación de la agrobiodiversidad. Las

redes agrícolas, sin embargo, parecen jugar un papel muy limitado en las decisiones de conservación. Curiosamente, en contextos en los que se debilitan las instituciones de acción colectiva, como en el sitio de Bolivia, la protección de las variedades no comerciales parece estar impulsado principalmente por los agricultores que todavía interactúan en entornos más pro-sociales y siguen normas sociales como el altruismo y la reciprocidad. En contextos en los que la acción colectiva es más sólida, como en el sitio peruano, los agricultores que valoran la protección de los recursos amenazados de por sí parecen jugar un papel clave en la conservación de la agrobiodiversidad.

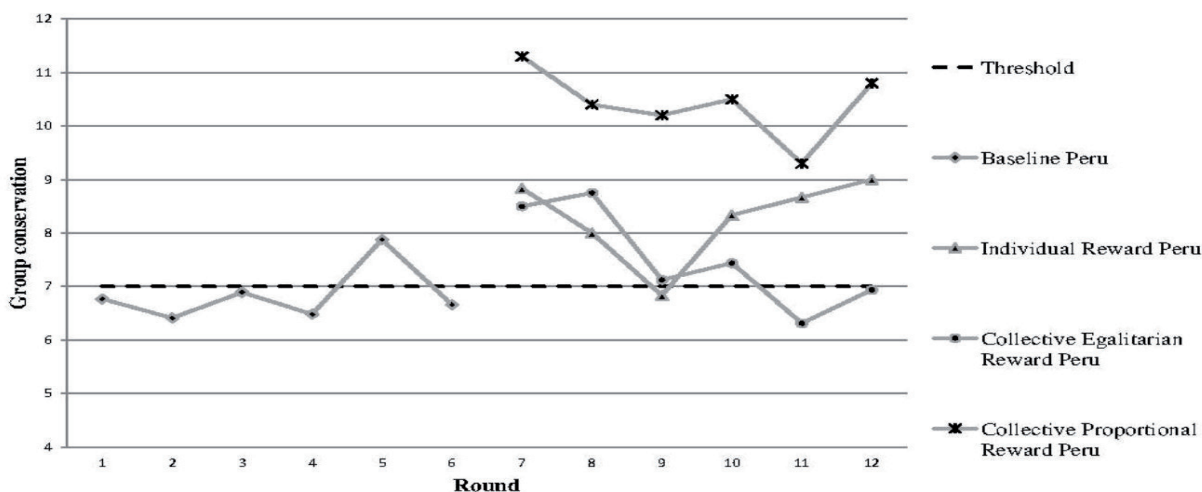
También parece que el impacto de ambos tipos de recompensas depende fuertemente del contexto.

En el sitio boliviano, las recompensas colectivas no parecen tener ningún efecto en el comportamiento de conservación, mientras que las recompensas individuales crean un efecto potenciador de la conservación en diferentes maneras. En el sitio peruano, donde la agricultura es más basada en la subsistencia y las instituciones de acción colectiva están más desarrolladas, las recompensas colectivas parecen aumentar la conservación de manera

directa. Posiblemente, en contextos donde la acción colectiva aún es relativamente sólida, los pagos a nivel de grupo ofrecen incentivos económicos más fuertes para mejorar la conservación.

#### *Efecto del tipo de recompensa.*

La figura 3 muestra la contribución promedio por grupo durante las 12 rondas en Perú, diferenciados por el tipo de recompensa



**Figura 3:** La contribución promedio por grupo durante las 12 rondas en Perú, diferenciados por el tipo de recompensa

Como se puede apreciar en la figura 3, la introducción de una recompensa siempre aumenta el nivel de conservación de forma instantánea. Este aumento es mayor con la recompensa proporcional que con la individual o la igualitaria. Como los tres tipos de recompensas implicarían el mismo costo por unidad de conservación para los responsables de formular políticas, las recompensas proporcionales colectivas parecen ser más costo-efectivas que los otros tipos de pagos..

La recompensa proporcional combina características tanto de la recompensa individual como de la recompensa igualitaria. En primer lugar, contrariamente a la recompensa individual, sólo se recibe cuando el grupo alcanza el umbral de conservación colectivamente. El hecho de que los agricultores individuales deben auto-organizarse para ser elegibles para las recompensas de nivel de grupo puede, en sí, fomentar la acción colectiva a través de la mejora de la cohesión social y la vinculación de capital social. Como resultado, ambas

recompensas colectivas proporcionan un incentivo adicional para la acción colectiva que la recompensa individual no logra. En segundo lugar, la recompensa proporcional se basa en los esfuerzos individuales, mientras que la recompensa igualitaria es entregada a todos los agricultores, independientemente de sus esfuerzos de conservación. Por lo tanto, el último puede aumentar los incentivos para aprovecharse los esfuerzos de los demás, ya que es posible recibir la recompensa sin participar en la conservación.

Los grupos focales post-experimento para entender las decisiones de los agricultores durante el juego sugirieron que a los participantes no les gusta la recompensa igualitaria, debido a que sus compañeros podrían “aprovecharse de los esfuerzos de otros sin hacer algo por sí mismos.” Por lo tanto, los agricultores podrían haber aumentado su nivel de conservación en menor medida con la recompensa igualitaria que con la proporcional, ya que anticipan este comportamiento de aprovechamiento (ver Narloch et al. 2012 para más detalles sobre las interacciones



entre las recompensas y las preferencias sociales de los agricultores).

En resumen, la forma en que son implementadas las recompensas (colectiva o individual) y la forma en que las recompensas colectivas son compartidas dentro de una comunidad pueden afectar de forma significativa su eficacia. Los resultados del análisis sugieren que las recompensas proporcionales colectivas funcionan mejor para aumentar la conservación de la biodiversidad de la quinua en el contexto peruano. Sin embargo, los resultados también muestran que el contexto (orientado al mercado vs agricultura de subsistencia) y las instituciones de acción colectiva existentes pueden afectar la forma en que una recompensa impacta en el comportamiento de conservación de los agricultores. Además, vale la pena señalar que los esquemas de PSA con sistemas de recompensa colectiva también pueden generar beneficios socioeconómicos adicionales. Puede haber una reducción en los costos de transacción a partir del trabajo con grupos, a diferencia de individuos, y este ahorro puede entonces dirigirse hacia niveles más altos de recompensas colectivas, lo que podría dar lugar a diferentes dinámicas sociales.

### Conclusiones.

Los resultados anteriores revelan el potencial y la complejidad de hacer que un sistema de pagos por servicios ambientales funcione para la conservación de la agrobiodiversidad de manera eficaz, eficiente y equitativa.. Estos esquemas también pueden generar beneficios para los agricultores, no sólo para la realización de actividades de conservación en sí, sino también para apoyar el monitoreo de estatus y los servicios de seguimiento y verificación del esquema PACS, permitiendo así a los campesinos diversificar sus medios de subsistencia.

Por lo tanto, el diseño cuidadoso de PACS puede ser la clave para la conservación eficaz de la agrobiodiversidad, en particular para proteger las variedades ancestrales de la quinua. Con la creciente implementación de esquemas de PSA en el campo, también hay una necesidad urgente de investigación relativa en lugares concretos a fin de ampliar la comprensión de las formas en que los sistemas de recompensas externas pueden afectar las prácticas existentes de gestión de recursos dado los diversos

contextos de mercados y grupales.

Teniendo en cuenta que, en general, los RGPA amenazados están ubicados en zonas rurales desfavorecidas y remotas de países en desarrollo, un sistema equitativo de PACS puede llegar a ser una parte útil de los paquetes de desarrollo rural y una potencial herramienta útil para los responsables de formular políticas de la conservación de la agrobiodiversidad asociada por ejemplo a los esfuerzos para conseguir la seguridad alimentaria en un contexto de adaptación al cambio climático. Bajo tales circunstancias, los esquemas PACS tendrían que ser diseñados de tal manera que tengan en cuenta consideraciones de equidad con el fin de no socavar la legitimidad a largo plazo de este tipo de programas y por lo tanto, su solidez. Como señala Bowles (2008), *'las buenas políticas son las que soportan fines socialmente valiosos, no sólo mediante el aprovechamiento de las preferencias egoístas para fines públicos, sino también mediante la evocación, el cultivo, y el empoderamiento de los motivos de espíritu público.'* Por consiguiente, antes de adoptar esquemas PACS, se debe llevar a cabo una cuidadosa evaluación de las preferencias sociales existentes. También pueden ser necesarios enfoques participativos a lo largo del proceso para garantizar la participación de los campesinos en el diseño de los PACS. Esto es evidente, dado que los resultados del juego experimental indican que no podemos asumir de manera general que los mecanismos de recompensa externos proporcionarían inequívocamente los incentivos a los usuarios de los recursos para que aumenten sus esfuerzos de conservación. Claramente, los diferentes sistemas de recompensa influyen de manera diferente en el comportamiento de diferentes tipos de usuarios de los recursos, y por lo tanto puede haber diferencias en su eficacia en función del contexto socioeconómico.

### Agradecimientos.

Este trabajo forma parte del programa Economía de la Conservación y el Uso Sostenible de la Agrobiodiversidad de Bioversity International. El componente de Pagos por Servicios de Conservación de la Agrobiodiversidad (PACS) de este trabajo ha sido apoyado por el Programa de Acción Colectiva y Derechos de Propiedad (CAPRI) del CGIAR y la Fundación Syngenta para la Agricultura Sostenible (SFSA). La investigación se llevó a cabo en colaboración con la Fundación para la Promoción

e Investigación de Productos Andinos (PROINPA), Bolivia y el Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente (CIRNMA), Perú, el Departamento de Economía de la Tierra de la Universidad de Cambridge, Reino Unido y el Centro de Cambio Climático Vasco, País Vasco, España.

## Referencias

- Anderies JM, M Janssen, F Bousquet, JC Cárdenas, D Castillo, MC López, R Tobias, B Volla y A Wutich (2011). The challenge of understanding decisions in experimental studies of common pool resource governance. *Ecological Economics* 70: 7, 1571-1579.
- Baumgärtner S (2007). The insurance value of biodiversity in the provision of ecosystem services. *Natural Resource Modelling* 20: 1, 87-127.
- Bellon M (2008). Do we need crop landraces for the future? Realizing the global option value of in-situ conservation. En: Kontoleon A, U Pascual y M Smale (Eds.), *Agrobiodiversity Conservation and Economic Development*, 56-72. Routledge, Abingdon, Reino Unido.
- Bowles S (2008). Policies designed for self-interested citizens may undermine "the moral sentiments": Evidence from economic experiments. *Science* 320, 1605-1609.
- Canahua A, M Tapia, A y Z Ichuta Cutipa (2002) Gestión del Espacio Agrícola y agrobiodiversidad en papa y la quinua en las comunidades campesinas de Puno. En: Pugal Vidal M, H y J Zegarrra Urrutia (Eds). *Perú: El Problema Agrario en Debate*, 286-316. SEPIA 9. Lima, Perú: SEPIA.
- Cardenas J-C (2000). How do groups solve local commons dilemmas? Lessons from experimental economics in the field. *Environment, Development and Sustainability* 2, 305-322.
- Cardenas J-C y J Carpenter (2008). Behavioural development economics: Lessons from field labs in the developing world. *Journal of Development Studies* 44, 337-64.
- Cardenas J-C y E Ostrom (2004). What do people bring into the game: Experiments in the field about cooperation of the commons. *Agricultural Systems* 82, 307-326.
- Corbera E, K Brown y WN Adger (2007a) The equity and legitimacy of markets for ecosystem services. *Development and Change* 38, 587-613.
- Corbera E, N Kosoy y T Martínez (2007b). Equity implications of marketing ecosystem services in protected areas and rural communities: Case studies from Meso-America. *Global Environmental Change* 17, 365-380.
- Drucker AG (2007). The Role of Economic Analysis in Improving Farm Animal Genetic Resource Conservation and Sustainable Use. In: *State of the World's Animal Genetic Resources*. FAO, Roma.
- Drucker AG, M Smale y P Zambrano (2005). Valuation and sustainable management of crop and livestock biodiversity: a review of applied economics literature. Un informe publicado para el Programa de Recursos Genéticos (SGRP) del CGIAR por el IFPRI, el IPGRI y el ILRI.
- Eyzaguirre P, y E Dennis (2007). The impacts of collective action and property rights on plant genetic resources. *World Development* 35: 9, 1489-1498.
- Ferraro PJ (2008). Asymmetric information and contract design for payment for environmental services. *Ecological Economics* 65, 810-821.
- Gintis H (2000). Beyond Homo economicus: evidence from experimental economics. *Ecological Economics* 35: 3, 311-322.
- Grieg-Gran M, I Porras y S Wunder (2005). How can market mechanisms for forest environmental services help the poor? Preliminary lessons from Latin America. *World Development* 33: 9, 1511-1527.
- Gruère GP, A Giuliani y M Smale (2009). Marketing underutilized plant species for the benefit of the poor: a conceptual framework. In Kontoleon A, U Pascual y M Smale (Eds.), *Agrobiodiversity Conservation and Economic Development*, 73-87. Routledge, Abingdon, Reino Unido.
- Henrich J, R Boyd, S Bowles, C Camerer, E Fehr, H y R McElreath Gintis (2001). In search of homo economics: behavioural experiments in 15 small-scale societies. *American Economic Review* 91: 2, 73-78.
- Jackson LE, U Pascual y T Hodking (2007). Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture Ecosystems Environment* 121, 196-210.
- Laguna P, Z Caceres Z y A Carimentrand (2006). Del Altiplano Sur Bolivariano hasta el Mercado global: coordinacion y estructuras de gobernancia de la

cadena de valor de la quinua organica y del comercio justo. *Agroalimentaria* 22, 65-76.

Latacz-Lohmann U y S Schilizzi (2005). Auctions for Conservation Contracts: A Review of the Theoretical and Empirical Literature. 101 p. Informe al departamento de medio ambiente y asuntos rurales del Ejecutivo Escocés.

Latacz-Lohmann U y C van der Hamsvoort (1997). Tenders as a means of creating a market for public goods from agriculture. *Journal of Agricultural Economics* 49: 3, 334-345.

Muradian R, E Corbera, U Pascual, N Kosoy y PH May (2010). Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. *Ecological Economics* 69, 1202-1208.

Nagarajan L, EDIO King, H Jones, A Vedamoorth y N Kumar (2008). Economic impact of development interventions towards farmer welfare: a case on minor millets in Kolli Hills, Tamil Nadu. Documento de trabajo, Taller sobre "Using Markets to Promote the Sustainable Utilization of Crop Genetic Resources" en la ONU, FAO, Roma, Italia, 5-7 de mayo de 2008.

Narloch U (2011). *Payments for agrobiodiversity services: How to make incentive mechanism work for conservation*. 224p. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Cambridge, Departamento de Economía de la Tierra, Cambridge, Reino Unido

Narloch U, AG Drucker, y U Pascual (2011a). Payments for agrobiodiversity conservation services for the sustained on-farm utilization of plant and animal genetic resources. *Ecological Economics* 70, 1837-1845.

Narloch, U, U Pascual, y AG Drucker (2011b) Cost-effectiveness targeting under multiple conservation goals and equity considerations in the Andes. *Environmental Conservation* 38: 4, 417-425.

Narloch U, U Pascual y AG Drucker (2012). Collective Action Dynamics under External Rewards: Experimental Insights from Andean Farming Communities. *World Development* 40: 10, 2096-2107.

Ostrom E (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Pascual, U., Muradian, R., Rodríguez, L.C. y Duraipah, A. (2010) Exploring the links between equity and efficiency in Payments for Environmental Services: a conceptual approach. *Ecological Economics* 69: 1237-1244.

Pearce D y D Moran (1994). *The economic value of biodiversity*. Londres: Earthscan.

Rojas W, R Valdivia, S Padulosi, M Pinto, JL Soto, E Alcocer, L Guzmán, R Estrada, V Apapza, y R Bravo (2009). From neglect to limelight: Issues, methods and approaches in enhancing sustainable conservation and use of Andean grains in Peru and Bolivia. JARTS Supplement, 92, 1-32.

Rojas W, JL Soto y E Carrasco (2004). Estudio de los impactos sociales, ambientales y economicos de la promoción de la quinua en Bolivia. Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia.

Thrupp LA (2000). Linking agricultural biodiversity and food security: The valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. *International Affairs* 76:2, 283-297.

Velásquez-Milla, D., Casas, A., Cruz-Soriano (2011) Ecological and socio-cultural factors influencing in situ conservation of crop diversity by traditional Andean households in Peru. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2011, 7:40

Vélez MA, JJ Murphy y JK Stranlund (2010). Centralised and decentralised management for local common pool resources in the developing world: Experimental evidence from fishing communities in Colombia. *Economic Inquiry* 48: 2, 254-265.

VSF (2009). *Quinoa y Territorio. Experiencias de Acompañamiento a la Gestión del Territorio y a la Autogestión Comunal en la Zona Intersalar del Altiplano Boliviano*. Agronomes Veterinarios Sans Frontieres La Paz, Bolivia: Ruralter.

Wunder S (2005). Payment for environmental services: some nuts and bolts. Documento ocasional CIFOR 42. Bogor, Indonesia.

Wunder S (2007). The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. *Conservation Biology*





PARTE 2.

ASPECTOS  
AGRONÓMICOS Y  
ECOLÓGICOS





## CAPÍTULO: 2.1

## TÍTULO: CONTROL AMBIENTAL DEL DESARROLLO

\*Autor para correspondencia: Héctor Daniel BERTERO <[bertero@agro.uba.ar](mailto:bertero@agro.uba.ar)>

HÉCTOR DANIEL BERTERO\*, Cátedra de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires y CONICET-IFEVA. Av. San Martín 4453, (C1417DSE), Buenos Aires, Argentina

## Resumen.

La duración de etapas del desarrollo es uno de los determinantes principales de la adaptación de una especie, condicionando el ajuste a la estación de crecimiento, la partición de fotoasimilados, la absorción de agua y nutrientes y, en último grado, el rendimiento alcanzado. Cuatro factores afectan la progresión del desarrollo en quínuas: la temperatura, el fotoperíodo, el status hídrico y la radiación, variables estas últimas escasamente analizadas en términos de su impacto sobre el desarrollo y existe variabilidad genética documentada en la sensibilidad para los dos primeros. La temperatura es el factor ambiental con mayor impacto relativo sobre la duración del desarrollo. La sensibilidad a la temperatura fue evaluada para el tiempo hasta yema floral visible y la tasa de aparición de hojas; la variabilidad para ambas variables se asocia a características de los ambientes de origen, siendo mayor en ambientes con limitaciones hídricas y bajas temperaturas, indicando que la adaptación a estaciones de crecimiento cortas se expresa mediante una mayor precocidad, en parte compensada con una mayor tasa de aparición de hojas, mientras que genotipos más tardíos se encuentran en ambientes más húmedos y cálidos. Quínuas se comporta como una planta de día corto y la mayor sensibilidad al fotoperíodo se expresa en genotipos de valle, cultivados entre Argentina y Colombia. En el extremo opuesto, aquellos del Altiplano sur, incluidos Bolivia y el Noroeste de Argentina, junto con genotipos de nivel del mar en Chile, poseen escasa o nula sensibilidad a este factor para tiempo a floración. La sensibilidad al fotoperíodo se manifiesta desde etapas tempranas del desarrollo hasta etapas avanzadas del llenado de granos, existiendo a su vez

variabilidad en la duración del período sensible.

### 1. Control ambiental del desarrollo y la variabilidad intraespecífica en la sensibilidad de este a factores ambientales.

Optimizar la productividad implica ajustar la ontogenia (secuencia de estadios de desarrollo) de forma que el cultivo explore las mejores condiciones ambientales (ej. temperaturas favorables o buena disponibilidad de agua) y, cuando las condiciones desfavorables son inevitables, minimizar la coincidencia de estas con los estadios más vulnerables del cultivo. No es sorprendente, entonces, que la fenología (la influencia del ambiente sobre la ontogenia) sea el factor particular más importante en determinar la adaptación genotípica (Lawn e Imrie, 1994). El ajuste de la ontogenia al ambiente puede lograrse por dos vías: la modificación genética del cultivo a través de la manipulación de los genes que confieren sensibilidad al ambiente o el manejo de fechas y sitios de siembra (Richards, 1989).

El párrafo previo destaca la importancia de la variación en duración del desarrollo como un aspecto clave de la adaptación de los cultivos al ambiente (Evans, 1993), y esto es válido también para la quínuas. El conocimiento de los factores ambientales que regulan la duración del desarrollo de los cultivos constituye un elemento indispensable para predecir su comportamiento agronómico y el rendimiento en un área de régimen climático conocido (Miralles et. al., 2001). Los factores ambientales más relevantes en el control del desarrollo de los cultivos son la temperatura y el fotoperíodo, y su importancia relativa depende de la sensibilidad de las plantas en cada fase (Hall, 2001).

## 2. Importancia del conocimiento sobre el control del desarrollo en quinua.

En el ciclo de un cultivo pueden distinguirse distintos períodos que se caracterizan por la generación de determinados órganos y el patrón de partición de fotoasimilados. Estos períodos son denominados fases o estadios, pudiendo definirse una fase como el período comprendido entre dos eventos de desarrollo claramente identificables. Estos eventos suelen ser observables a nivel meristemático (en el meristema apical o axilar, según el cultivo) e involucran cambios en la generación de órganos y partición de fotoasimilados. Los eventos más importantes en el ciclo de vida de un cultivo anual son: la emergencia, la iniciación floral, la floración (usualmente identificada como el momento de anthesis o aparición de las anteras) y la madurez fisiológica. Estos eventos permiten determinar tres fases mayores del desarrollo: (i) fase vegetativa (entre emergencia e iniciación floral), (ii) fase reproductiva (entre iniciación floral y floración) y (iii) fase de maduración o llenado de granos (entre la floración y la madurez fisiológica) (Ritchie, 1991). Estas fases pueden a su vez dividirse en sub-fases.

Como algunas escalas utilizadas para caracterizar el desarrollo de los cultivos se basan en fenómenos tales como la aparición de hojas, mientras que otras se basan en cambios a nivel de la actividad de los meristemas apicales, se ha establecido una distinción entre desarrollo fásico y desarrollo morfológico (Ritchie, 1991). El primero implica cambios en estadios de crecimiento (sucesión de fases) y el segundo se refiere al comienzo y fin de la generación de órganos dentro del ciclo de vida de una planta (ej. el tiempo entre la aparición de dos hojas).

La duración del ciclo o de etapas particulares del desarrollo es una de las variables más importantes en explicar los patrones de interacción genotipo x ambiente para rendimiento (Bertero et al., 2004) o la variabilidad genética en colecciones de germoplasma de quinua (Ortiz et al., 1998, Rojas 2003, Curti et al., 2012). Los Blups -estimadores de efectos genotípicos- para duración siembra-madurez mostraron una fuerte asociación positiva con el rendimiento ( $r^2=0.88$ ) y la biomasa aérea total ( $r^2=0.87$ ) y negativa con el índice de cosecha (IC, proporción de la biomasa aérea en grano,  $r^2=0.7$ ) en una red de experimentos realizados en la zona intertropical (Bertero et al., 2004). Cuando este análisis se realizó por grupo ambiental (ambientes que ejercen un efecto semejante sobre el

comportamiento de los genotipos en rendimiento), la duración de desarrollo tuvo mayor variación y mejor asociación con los componentes del rendimiento) en ambientes más fríos, mientras que la duración y su variación fue mínima en ambientes tropicales de alta temperatura y días cortos (e.g. Brasilia, Brasil y Gia Loc, Vietnam, Bertero et al., 2004). El componente genético (genotipo/ genotipo x ambiente, G/GxA) tiene un alto peso relativo para duración del desarrollo (1,69) vs. 0,25, 0,89, 0,44 y 0,0026 para rendimiento, peso de granos, biomasa e Índice de Cosecha, respectivamente, indicando una mayor heredabilidad de estos atributos y posibilidad de respuesta a selección (Bertero et al, 2004); con pesos aún mas altos para evaluaciones realizadas en regiones geográficas mas acotadas, como el Noroeste de Argentina (R. Curti, com. pers.). Por otro lado, el tiempo a iniciación floral, 50 % de floración y madurez poseen el mayor peso en explicar la variación genética y la discriminación sobre el primer eje del análisis de componentes principales (que explica 30 % de la variación sistemática total) para una colección de 1512 accesiones en Bolivia, explicando un 78, 87.5 y 56 % de la varianza, respectivamente (Rojas, 2003). Resultados semejantes se obtuvieron para la colección peruana (Ortiz et al, 1988) y argentina (Curti et al., 2012). Un aspecto interesante de esta variabilidad es la asociación débil encontrada entre duraciones de fases, lo que sugiere que sería posible su manipulación independiente (Risi y Galwey, 1989).

La duración y secuencia de fases del desarrollo es el control más importante de la dinámica temporal de generación de área foliar. Así, el número de hojas sobre tallo principal se determina en anthesis (Bertero et al., 1999a, Ruiz y Bertero, 2008), el área foliar sobre tallo principal alrededor de anthesis y aquel sobre ramas durante el período de floración (Ruiz y Bertero, 2008). Si bien hay una coordinación fuerte entre desarrollo fásico y morfológico, no existe una relación única, con genotipos que pueden continuar la generación de área foliar por mas tiempo luego de la anthesis, con una menor reducción relativa de ésta comparada con genotipos de igual precocidad, y de interés para la selección de genotipos para estaciones cortas de cultivo (Ruiz y Bertero, 2008). Se cuantificó la asociación entre la duración de fases del desarrollo y la fecha de comienzo y quiebre (de

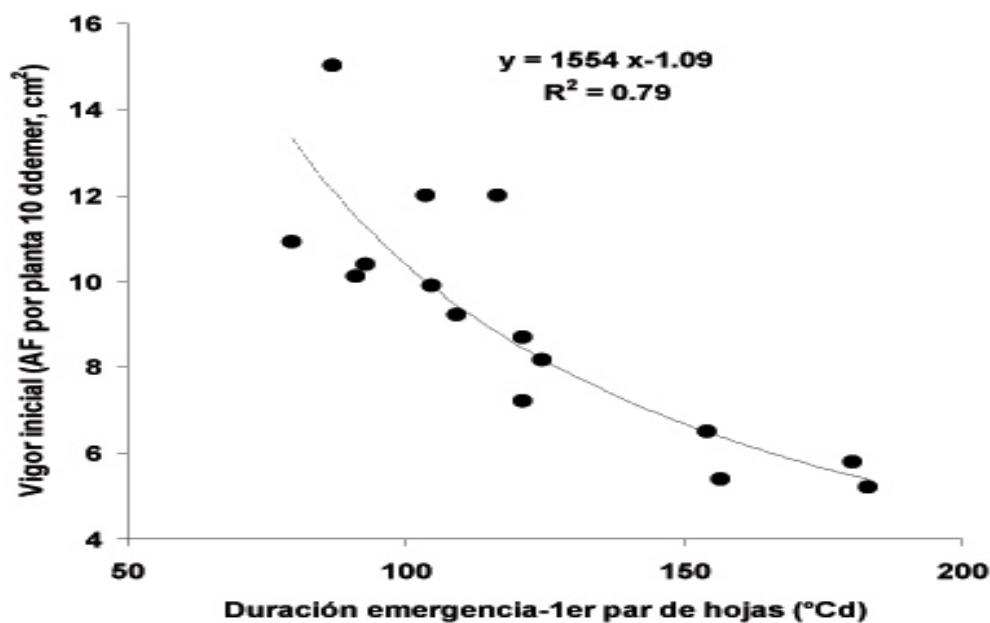
menor a mayor) en la partición de fotoasimilados a panoja y tallos en quinua (Bertero y Ruiz, 2010). A semejanza de otros cultivos (e.g. González et al., 2003), el crecimiento activo de los tallos comienza antes que aquel de la panoja en quinua, posiblemente condicionando la competencia entre estos dos órganos. Esta información fue luego utilizada para definir los momentos de aplicación de reguladores de crecimiento para incrementar la partición de fotoasimilados y el rendimiento (Gómez et al., 2011). La distinción entre etapas del desarrollo permitió identificar al período de floración (entre 1<sup>ra</sup> antesis y fin de floración) como el de mayor importancia en la determinación del número de granos en genotipos chilenos de quinua (Bertero y Ruiz, 2008).

### 3. Escalas de desarrollo.

Las escalas de desarrollo son importantes para la cuantificación del efecto del ambiente, la asociación con la generación de rendimiento o el manejo (identificación de períodos de tolerancia a heladas o déficits hídrico, aplicación de herbicidas o períodos de tolerancia a malezas o aplicación de fertilizantes). Existen varias escalas desarrolladas para quinua, algunas de ellas se describen a continuación. Flores (1977), definió cinco sub-períodos entre siembra y

madurez fisiológica separados por cuatro eventos: emergencia, aparición del primer par de hojas verdaderas (marcando el comienzo de la generación de área foliar), aparición de la inflorescencia y antesis. La duración del segundo sub-período (emergencia-aparición 1<sup>er</sup> par de hojas) posee una duración promedio aproximada de 160 °Cd (Temperatura de base (Tb) = 2 °C) y se utilizó para la modelación de la aparición de hojas (Bertero, 2001a). La duración de este sub-período muestra una asociación estrecha con el vigor temprano (capacidad de cubrir el suelo y alcanzar rápidamente una alta tasa de crecimiento), de importancia para la selección de genotipos (Bertero, 2001b y datos no publicados) (Figura 1).

Jacobsen y Stölen (1993) propusieron una escala de desarrollo que incluye 23 estadíos, entre los que los eventos mas relevantes son la formación de panoja, antesis, dehiscencia floral, cuaje y madurez. A diferencia de otras escalas, ésta incluye aspectos de desarrollo combinado con otros de crecimiento (ej. el momento en que se alcanza un determinado largo de panoja). Bertero et al. (1996), basándose en observaciones a escala de meristema apical utilizando lupa y microscopía electrónica de barrido, generaron una escala de desarrollo que discrimina entre panojas de tipo amarantiforme (7 estadíos) y glomerulada (8 estadíos).



**Figura 1:** Asociación entre la duración emergencia-aparición del primer par de hojas verdaderas (en °Cd, Tb = 2 °C) y el vigor inicial, medido como el área foliar (AF) por planta 10 días después de la emergencia, para 15 genotipos cultivados en climas templados. Fuente: Bertero, datos no publicados.

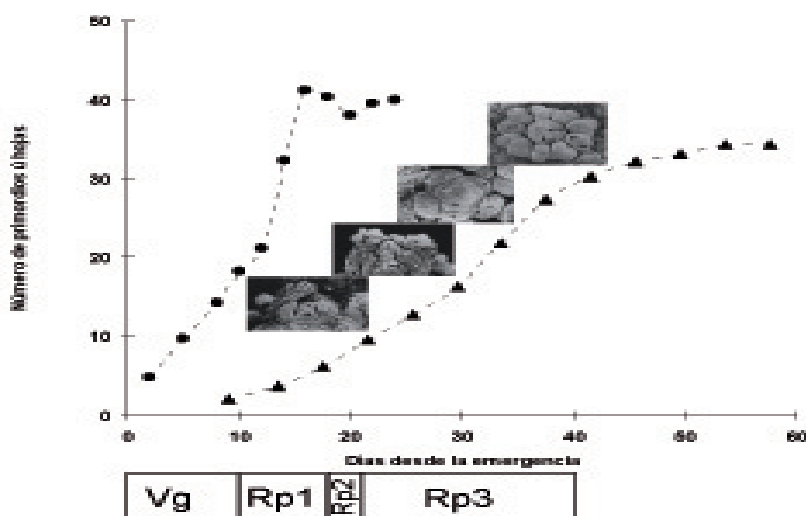
Cuando los scores propuestos se analizaron utilizando una escala de tiempo térmico ( $T_b = 3,7$  y  $6,4$  °C para la escala amarantiforme y glomerulada, respectivamente), estos se distribuyeron a intervalos regulares entre estadios. En un análisis posterior, Bertero et al. (1999a) propusieron una división en 4 sub-períodos para el período emergencia-antesis, a los que denominaron: Vg (entre emergencia e iniciación floral), Rp1 (entre iniciación floral y fin de la iniciación de primordios de hoja en el meristema apical), Rp2 (entre fin de Rp1 y la diferenciación de brazos estigmáticos en el meristema apical (G7 en la escala de Bertero et al., 1996)), y Rp3, entre fin de Rp2 y antesis. Mas del 50 % del total de primordios foliares se iniciaron durante Rp1. Mujica et al. (2001) propusieron una escala basada en 12 estadios para la Prueba Americana y Europea de Quinua. Finalmente, Bertero y Ruiz (2008) utilizaron una escala basada en caracteres externos (no destructiva) y distinguieron 4 fases: emergencia-yema floral visible (YFV), yema floral visible-antesis, antesis-fin de floración y fin de floración-madurez para la identificación del período crítico de generación del rendimiento. Variaciones de algunas de estas escalas fueron utilizadas por García Cárdenas (2003) y Geerts (2008). La falta de precisión en la descripción de los eventos de diferentes escalas, o la no disponibilidad de esta información en publicaciones de fácil acceso, dificulta establecer analogías entre escalas (ej. para determinar si, por ej. los estadios aparición de la inflorescencia (Flores, 1977), formación de panoja (Jacobsen y Stölen, 1993) y YFB (Bertero y Ruiz, 2008)

corresponden al mismo evento.

#### 4. Respuesta del desarrollo físico a factores ambientales.

Quinua es una planta con respuesta cuantitativa de día corto al fotoperíodo (Sívori, 1945, Fuller, 1949)); esto implica que la duración de algunas etapas del desarrollo se prolonga cuando las plantas son cultivadas bajo días mas largos, pero florecen en todo el rango de fotoperíodos explorados. Además, la duración del desarrollo es sensible a la temperatura y estos dos factores interactúan en determinar su duración bajo condiciones de campo (Bertero et al., 1999b). En este capítulo se analizan los conocimientos existentes para todas las etapas evaluadas, usando la escala de Bertero y Ruiz (2008) para el período desde la emergencia, por su mayor sencillez. Los conocimientos existentes para el período siembra-emergencia se analizan en detalle en el capítulo 2.6, por lo que solo algunos aspectos se mencionan en éste.

La duración de los períodos sensibles al fotoperíodo fue analizada en algunos genotipos. La fase juvenil (período posterior a la emergencia en que el cultivo no esta en condiciones de detectar y responder a cambios en el fotoperíodo) presenta variabilidad entre genotipos y ésta se asocia con la latitud de origen de los mismos (mayor duración a menor latitud), variando entre 0 y 9 días para plantas que crecieron bajo una temperatura de 21 °C (Bertero et al., 1999b). Esto contrasta con una estimación de 16 días a 16 °C para la variedad Real por Christiansen et al. (2010).



**Figura 2:** Asociación entre la duración de sub-períodos de desarrollo (Bertero et al, 1999a) y la iniciación y aparición de hojas (cv. Kanckolla, altiplano peruano). Las fotografías corresponden a los estadios: G0 (vegetativo), G1 (reproductivo temprano), G3 (comienzo de diferenciación de la flor terminal) y G7 (comienzo de diferenciación de brazos estigmáticos) para una panoja de tipo glomerulado. Adaptado de Bertero et al. (1996) y Bertero et al. (1999a).



Expresado para una temperatura de base común de 3 °C (Bertero, 2003) esto implicaría una duración de 208 °Cd, frente a un máximo de 162 °Cd estimado para la variedad colombiana Nariño, y de ~ 80 °Cd, según la ecuación propuesta por Bertero (2003) y que relaciona la duración de la fase juvenil con la latitud de origen. Es posible que esta diferencia se deba a la variable de respuesta utilizada, iniciación floral en el primer y antesis en el segundo trabajo. El final del período de sensibilidad al fotoperíodo es menos conocido. Christiansen et al. (2010) muestran variación en la duración del llenado de granos como consecuencia de la transferencia de plantas entre fotoperíodos, pero el período de sensibilidad a la transferencia finaliza ~ 25 días luego de la siembra (Figura 2 del citado artículo para la variedad Real), antes de alcanzar la antesis. En otros experimentos (Bertero et al., 1999a, Píriz et al., 2002), quinua muestra capacidad de responder a cambios en el fotoperíodo posteriores a la floración, y este período parece extenderse al menos entre 10 y 15 días post-antesis, como se observa al analizar el impacto de transferir plantas entre fotoperíodos luego de antesis sobre la tasa de llenado de granos.

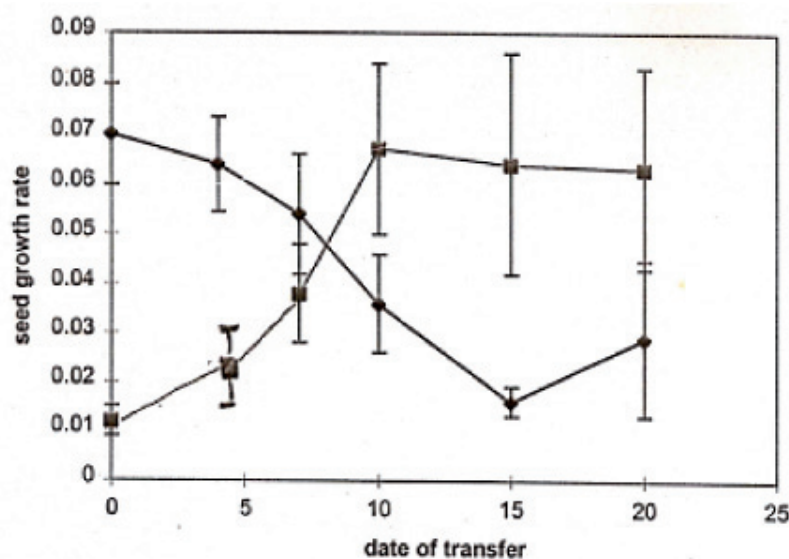
Una primera mirada sobre la variación genotípica en la sensibilidad al ambiente lo muestra la Figura 4, en la que se muestra la respuesta de la tasa de desarrollo (días siembra-madurez<sup>-1</sup>) a la temperatura para cuatro grupos genotípicos identificados en base a sus patrones de interacción GxA para rendimiento (Bertero et al., 2004). Aunque esta figura incluye resultados de experimentos

conducidos a campo en ambientes tropicales, el fotoperíodo medio mostró escasa variación entre ambientes (~1 h), por lo que gran parte de la variación presentada puede atribuirse al efecto de la temperatura.

#### 4.1 Siembra-emergencia.

Jacobsen y Bach (1998) estudiaron la influencia de la temperatura sobre la tasa de germinación en un cultivar de origen chileno seleccionado en Dinamarca. Identificaron una  $T_b$  de 3 °C y una temperatura óptima (asociada con la máxima tasa de desarrollo) de entre 30 y 35 °C. Las semillas alcanzaron el 100 % de germinación en 30 °Cd, lo que implica que bajo altas temperaturas y humedad adecuada todas las semillas germinarán en aproximadamente un día. Bois et al. (2006), estudiaron la variabilidad en respuesta a la temperatura en 10 cultivares bolivianos y detectaron variación en  $T_b$  y tiempo hasta 50 % de germinación;  $T_b$  varió entre 0.24 y -1.97 °C, varios °C mas bajos que lo reportado por Jacobsen y Bach (1998). Es interesante que umbrales de temperatura más bajos parecen caracterizar cultivares originarios de ambientes mas fríos y secos (ej. el altiplano boliviano comparado con el sur de Chile).

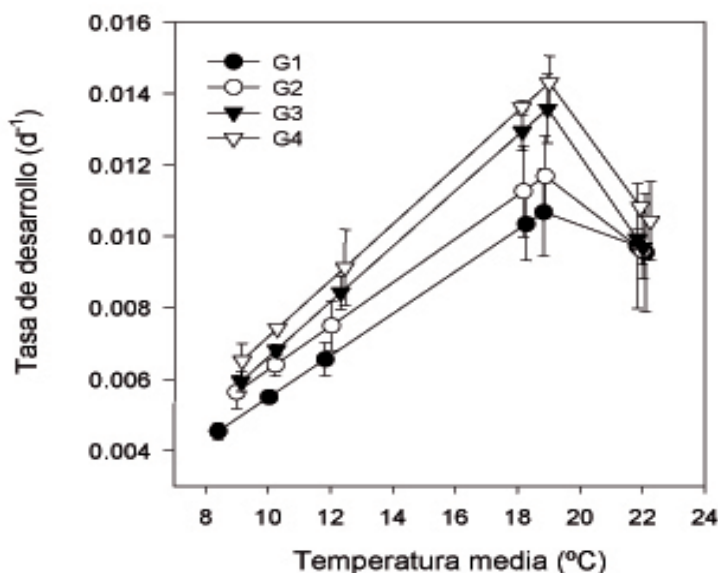
La variación entre cultivares resulta mas evidente cuando las semillas se incuban a 2 °C, en este ambiente el tiempo hasta el 50 % de geminación ( $T_{50}$ ) varía entre 45 y 67 hs. Quinua puede ser cultivada a la salida del invierno en el sur de Bolivia (Joffre y Acho, 2008) por lo que el impacto de esta variación sobre la capacidad de establecimiento del cultivo a bajas temperaturas merece ser explorado.



**Figura 3:** Efecto de la transferencia entre fotoperíodos (de 16 a 10.25 (□) y de 10.25 a 16 hs (△)) a intervalos regulares a partir de antesis, sobre la tasa de incremento en volumen de granos (mm d<sup>-1</sup>) medida como cambios en el diámetro máximo de semillas. Las plantas crecieron bajo una temperatura de 25 °C, en un invernáculo con control de temperatura y fotoperíodo y radiación natural. Cultivar Blanca de Junín (valles interandinos de Perú, mas detalles sobre el procedimiento experimental en Bertero et al., 1999a).

Valores mas altos de  $T_b$  se obtuvieron en una comparación de cuatro genotipos bolivianos de quínua (Boero et al., 2000) pero en ese caso las mismas se estimaron utilizando relaciones de tipo polinómico, a diferencia de las relaciones lineales utilizadas en las aproximaciones habituales. Un ejemplo de esta variabilidad se observa en la Figura

5, donde se compara la dinámica de germinación entre dos genotipos de respuesta contrastante, uno chileno y otro boliviano. En este ejemplo  $T_{50}$  varia entre  $\sim 10$  y  $18$  °Cd, entre 1 y 2/3 de los valores estimados por Jacobsen y Bach (1998) utilizando  $T_b$ s. semejantes.

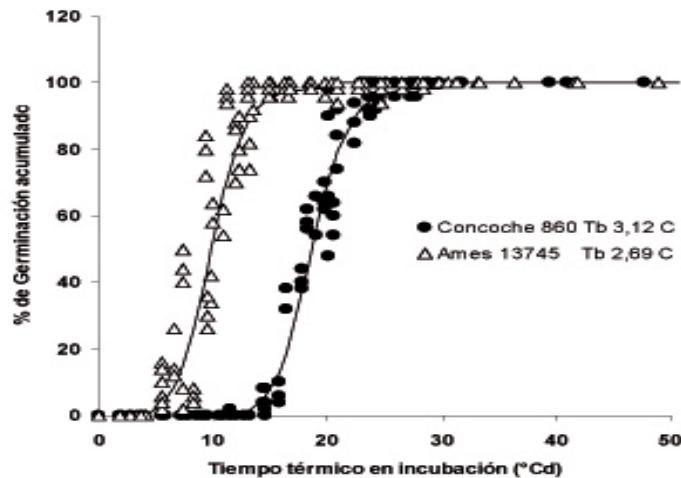


**Figura 4:** Asociación entre la tasa de desarrollo ( $d^{-1}$ ) media por grupo genotípico para el período siembra-madurez en 5 ambientes de cultivo incluidos en la Prueba Americana y Europea de Quínua (Mujica et al., 2001). Los símbolos corresponden a genotipos originarios de los valles interandinos (G1), Altiplano Peruano (G2), Altiplano Boliviano (G3) y de nivel del Mar (centro y sur de Chile, G4) según Bertero et al. (2004).

#### 4.2 Emergencia-yema floral visible.

Esta fase incluye los estadios Vg y Rp1 (Bertero et al., 1999a) y por tanto todo el período de iniciación de primordios de hoja, ambos estadios son afectados por la duración del día. La cantidad de primordios, pero no su tasa de iniciación (primordios  $dia^{-1}$ ) varió entre fotoperíodos en los dos genotipos en que esto fue analizado (Bertero et al., 1999a). En relación

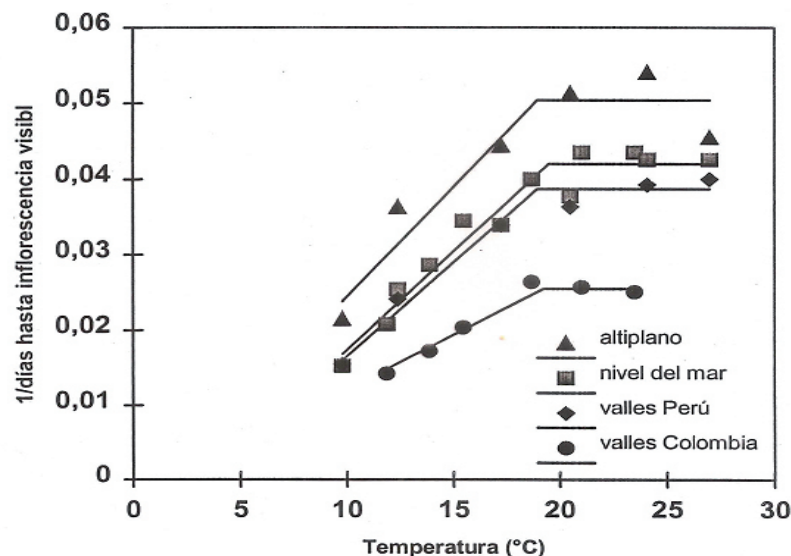
a la variabilidad genética para la duración de esta etapa dos parámetros que caracterizan la respuesta a temperatura y el fotoperíodo, la fase vegetativa básica (FVB), estimador de la sensibilidad a la temperatura ( $1/FVB$ ) y la sensibilidad al fotoperíodo (SF) son los más útiles para explicar las diferencias entre genotipos (Figura 6).

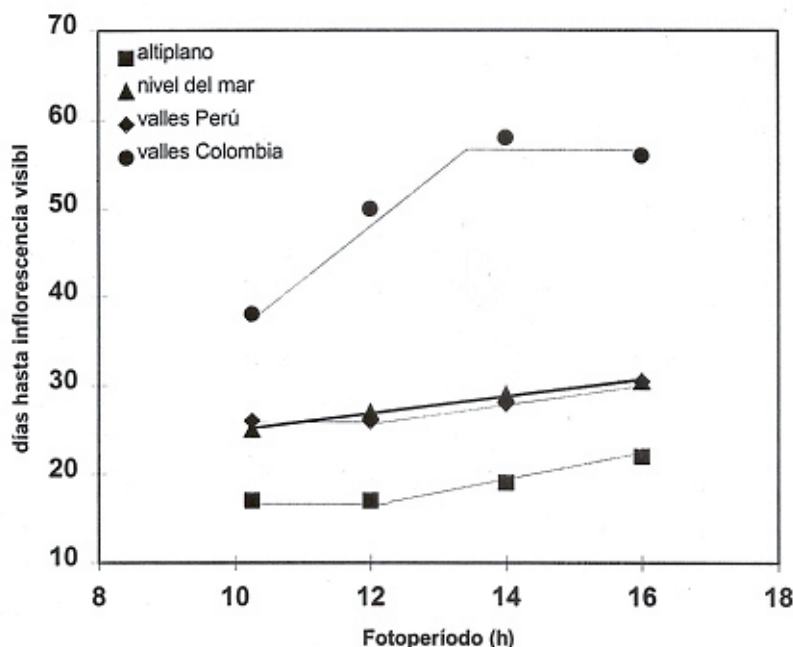


**Figura 5:** Progresión en la germinación acumulada en función del tiempo térmico desde inicio de incubación ( $^{\circ}\text{Cd}$ , ver valores de  $T_b$  en el gráfico) para dos genotipos de respuesta contrastante: Concoche, originario de Valdivia, Chile, y AMES 13745, originario de Bolivia (Christensen et al., 2007). Los datos corresponden a semillas incubadas a 6, 11, 15 y 19  $^{\circ}\text{C}$ .

La FBV es la mínima duración de la fase, encontrada bajo días cortos en plantas de día corto, mientras que la sensibilidad al fotoperíodo es el cambio en la duración de fases por unidad de cambio del fotoperíodo, expresado en  $^{\circ}\text{Cd}$  para condiciones variables de temperatura o en días  $\text{h}^{-1}$  para temperatura constante. Ambos parámetros variaron a través de un gradiente de latitud: un cultivar tropical (Nariño, de Colombia) exhibió la duración más larga de la FVB y los valores más altos de SF (700  $^{\circ}\text{Cd}$  y 65  $^{\circ}\text{Cd h}^{-1}$  ( $T_b = 1,5^{\circ}\text{C}$ )) y se

observaron los valores más bajos en el cultivar Baer (380  $^{\circ}\text{Cd}$  y 12  $^{\circ}\text{Cd h}^{-1}$  ( $T_b = 3,4^{\circ}\text{C}$ )) del sur de Chile (Bertero, 2003). Valores bajos de FVB y FS también se observaron en cultivares de floración temprana del altiplano de Perú y Bolivia, como una adaptación al corto período vegetativo experimentado en esos ambientes. A diferencia de otras etapas (ver antesis-madurez fisiológica más adelante), como el llenado de granos, los efectos de la temperatura y el fotoperíodo pueden considerarse independientes (Bertero et al., 1999b).





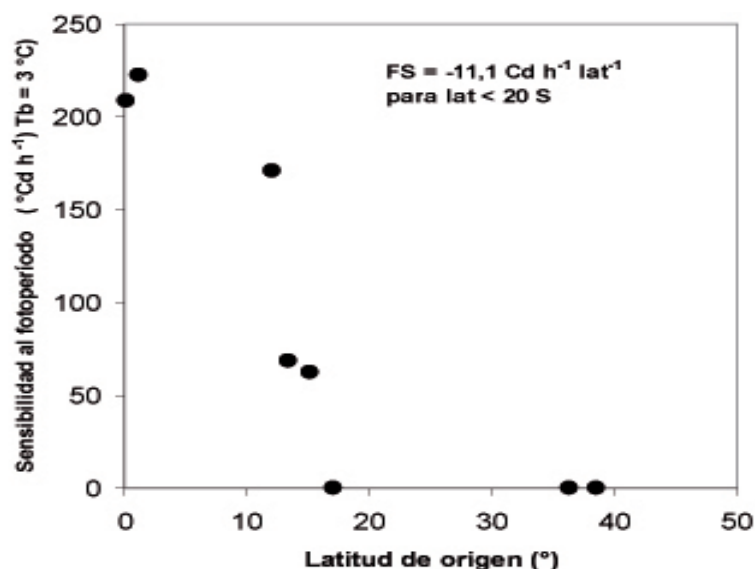
**Figura 6:** Variabilidad en la respuesta de la tasa de desarrollo a la temperatura (a) y de la duración hasta yema floral visible (YFB, b) al fotoperíodo, para cuatro genotipos representativos del rango de respuesta a estos factores, evaluadas bajo condiciones controladas. Los genotipos representados son: Nariño ((□), Colombia, valles interandinos), Amarilla de Marangani ((□), Perú, valles interandinos), Blanca de Julí ((□) Perú, altiplano) y Baer ((□) Chile, nivel del mar). La respuesta a la temperatura fue analizada para un fotoperíodo de 10.25 hs y aquella al fotoperíodo para una temperatura de 21 °C. Todos los genotipos muestran una estabilización de la tasa de desarrollo a una temperatura de ~20 °C, mientras que en la respuesta al fotoperíodo puede observarse un fotoperíodo umbral de ~12 h para Blanca de Juli y un fotoperíodo crítico de ~14 h para Nariño. Mas detalles sobre el procedimiento experimental en Bertero et al., (1999b)

#### 4.3 Yema floral visible-antesis.

Esta fase también es afectada por el fotoperíodo, tanto en forma directa como por los fotoperíodos experimentados en las fases previas (Bertero et al., 1999a). Esto tiene impacto a su vez sobre la dinámica de aparición de hojas. Si bien el número de primordios se encuentra determinado al comienzo de esta etapa, el número de hojas expandidas desde Rp2 hasta el final del período de aparición de hojas se modifica con el fotoperíodo, vía modificaciones en la proporción de primordios que se expanden para formar hojas (Bertero, 2003).

La sensibilidad al fotoperíodo es mayor en esta etapa que en la anterior (Bertero et al., 1999a) y se refleja a su vez en el rango de variación mostrado en la Fig. 7 (desde insensibilidad hasta mas de tres veces el valor máximo estimado para el mismo conjunto de genotipos para emergencia-YFV). Una regresión ajustada a la relación entre sensibilidad al fotoperíodo y latitud de origen para el rango 0-20 °S permitió estimar una pendiente de  $-11,1^{\circ}\text{Cd h}^{-1} \text{lat}^{-1}$ , comparado con  $-1,5^{\circ}\text{Cd h}^{-1} \text{lat}^{-1}$  para el período emergencia-YFV (Bertero, 2003). Evidencia preliminar sugiere que la viabilidad del polen puede reducirse por efecto del fotoperíodo (menor bajo días largos, datos no presentados).





**Figura 7:** Asociación entre la sensibilidad al fotoperíodo (SF) para la fase YFB-antes de la floración y la latitud de origen de los genotipos (los mismos que se incluyeron en Bertero et al., 1999b). SF se estimó para plantas creciendo en diferentes fechas de siembra en Buenos Aires, Argentina, en el rango 10-14.4 h de fotoperíodo medio por fase en cada fecha de siembra. FS se expresa en  $^{\circ}\text{Cd h}^{-1}$ , para una  $T_b = 3^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.3 Antes de la floración-madurez fisiológica.

Quizás la limitación más determinante para la adaptación fenológica a ambientes no tropicales esté vinculada a la sensibilidad al fotoperíodo y la temperatura durante el llenado de la semilla. Una interacción temperatura x fotoperíodo afecta el llenado, que es inhibido fuertemente por la combinación de días largos y altas temperaturas (Bertero et al., 1999a). Mientras que algunos cultivares andinos pueden ser cultivados y maduran en latitudes altas (Carmen, 1984, Risi y Galwey, 1991), solo limitados por la duración de la estación de crecimiento; la producción de semilla se inhibió fuertemente en latitudes medias cuando la floración se produjo bajo días largos y altas temperaturas. En la Prueba Americana y Europea de quinua (Mujica et al., 2001) todos los ambientes templados fueron excluidos del análisis debido a que los cultivares adaptados al trópico produjeron una gran cantidad de biomasa vegetal, pero fallaron en la producción de granos (Bertero et al., 2004; Correa Tedesco, 2005). Algo interesante para la adaptación a ambientes templados es que esta inhibición no parece ocurrir, o tener menor impacto (Christiansen et al., 2010) en los cultivares de nivel del mar y algunos de las tierras altas, que se pueden cultivar en estos ambientes.

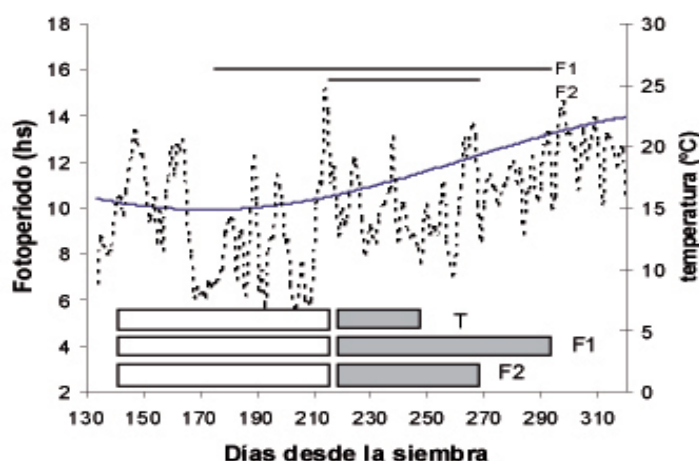
Las altas temperaturas también parecen explicar la mala adaptación de variedades del altiplano chileno y boliviano, cultivadas a una altura de alrededor de 2500 m en Colorado, EE.UU., si bien tenían un buen desempeño a 2800 m en otras localidades del mismo estado (Johnson y McCamant, 1986). Haciendo aún más compleja la interacción entre fotoperíodo y temperatura durante el llenado, plantas que crecieron bajo días cortos antes de floración presentan una menor inhibición por el fotoperíodo durante el llenado que aquellas procedentes de días largos (Bertero et al., 1999a, Bertero et al., 2002) (Fig. 8). Un aspecto adicional del efecto del fotoperíodo sobre el llenado de granos es el retraso en la senescencia (Bertero et al., 2002, Christiansen et al., 2010) posiblemente consecuencia de alteraciones en la relación fuente-destino ligadas a la inhibición de la partición de fotoasimilados (¿y el nitrógeno?) al grano (Fig. 8). Esto se manifiesta como un comportamiento *stay green* que no se traduce en un beneficio en términos de peso de granos ni rendimiento, al estar éste inhibido. La diferencia entre el testigo (T) y F2 (extensión del fotoperíodo desde antes de la floración a madurez) parece asociarse a las fechas de madurez fisiológica diferenciales entre estos tratamientos, mientras que las hojas muestreadas en F1 (extensión desde botón

floral a madurez) corresponden a plantas que, a poco de comenzar el muestreo, fueron sombreadas por hojas nuevas que continuaron apareciendo en el tallo principal, y la aceleración observada en la senescencia puede interpretarse como consecuencia de este sombreado. Con respecto a T la senescencia fue más rápida que en F2 asociado nuevamente a las diferencias en fecha de madurez. Tanto para F2 como para T, a madurez fisiológica la senescencia se asoció al comienzo de una caída pronunciada en los valores SPAD (Fig. 8). Las plantas bajo el tratamiento de extensión fotoperiódica nunca maduran, los

tallos permanecen verdes y se observa crecimiento de nuevas ramificaciones a partir de la inflorescencia (Christiansen et al., 2010).

### 5. Respuesta del desarrollo morfológico a factores ambientales.

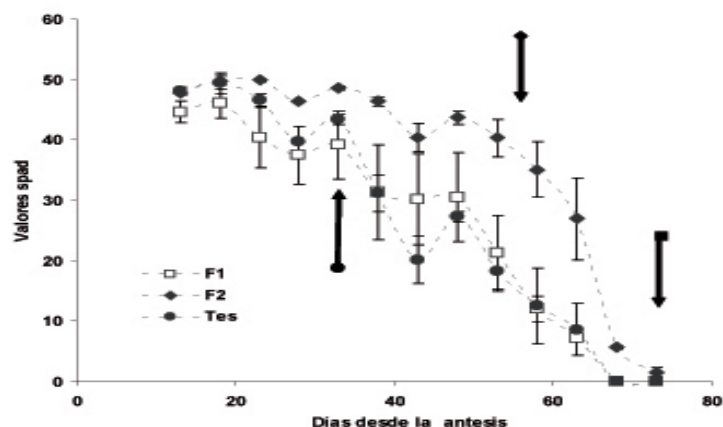
Otros procesos de desarrollo son aquellos relacionados con la aparición de hojas. La tasa de aparición de hojas ( $\text{hojas día}^{-1}$ ) se ve afectada por la temperatura y el fotoperíodo en quinua, aunque los efectos de la temperatura son más relevantes en términos relativos (Bertero et al., 2000) (Figura 9).



**Figura 8:** Efecto de la manipulación del fotoperíodo bajo condiciones de campo (Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires) sobre la duración de etapas del desarrollo. Las barras horizontales claras corresponden a la duración del período emergencia-antesis, mientras que las oscuras a antesis-madurez fisiológica. Los tratamientos son: testigo bajo fotoperíodo natural (T), extensión del fotoperíodo desde YFB hasta madurez (F1) y desde antesis a madurez (F2). La línea horizontal superior indica la duración de los tratamientos de extensión del fotoperíodo (16 hs), la línea punteada los promedios decádicos de temperatura y la continua la marcha del fotoperíodo natural (calculado según Charles-Edwards et al., 1986). Cultivar Sajama (altiplano de Bolivia). F1 no provoca cambios en el tiempo a floración, indicando el comportamiento insensible al fotoperíodo para esta etapa de este genotipo).

La variación en el filocrono (tiempo térmico entre la aparición de dos hojas sucesivas sobre el tallo principal, en  $^{\circ}\text{Cd}$ ) muestra un patrón similar al del tiempo a floración: plantas de floración tardía son también las que tienen un filocrono más largo (y por lo tanto, menor tasa de aparición de hojas), mientras que lo opuesto se observa en las accesiones del altiplano y el sur de Chile. Esto indica que, en entornos de estación corta, como los del altiplano (Geerts et al., 2006) los genotipos florecerán en menos tiempo térmico, pero pueden compensar parcialmente esta

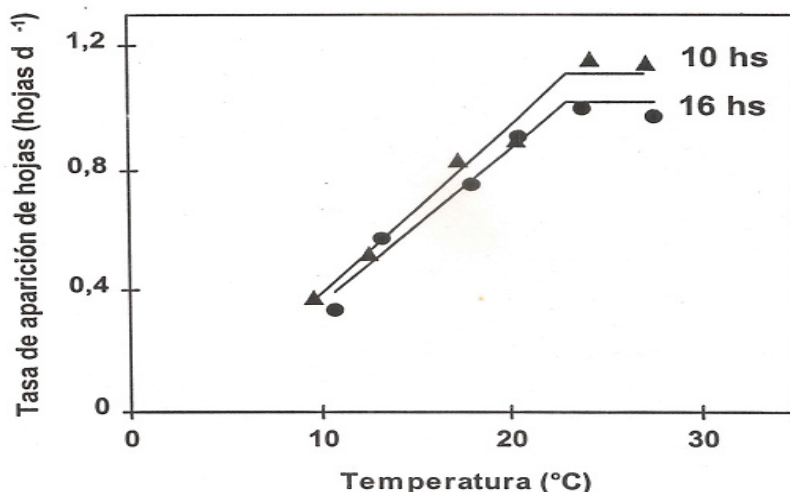
reducción en el tiempo disponible para capturar recursos por la producción de un mayor número de hojas por unidad de tiempo que las variedades de ambientes más cálidos y húmedos. Un hallazgo interesante es que el filocrono es más corto (25%) en nuevas variedades seleccionadas en las tierras altas de Bolivia en comparación con una variedad criolla tradicional (Bois et al., 2006) tal vez una consecuencia de la selección para una mayor tasa de crecimiento y producción de biomasa.



**Figura 8:** Efecto del fotoperíodo sobre el contenido de clorofila (unidades arbitrarias SPAD, Minolta 1989) durante el llenado de granos, hoja No.13. Las flechas indican el momento de madurez fisiológica, y los tratamientos son los mismos que para la Fig. 7. Cultivar Sajama.

Como regla general sin embargo, plantas de floración temprana pagan un costo en términos de potencial de rendimiento asociado al menor tiempo disponible para captar recursos (aérea y subterránea) como indica la asociación positiva entre la biomasa del cultivo y la duración de ciclo (Bertero et al., 2004). La acumulación de biomasa es también función de la variación en la tasa de crecimiento de cultivos sin embargo, y el menor filocrono podría conducir a una mas rápida generación de área foliar, mayor intercepción de

radiación y crecimiento, lo que permitiría el diseño de cultivares que alcancen valores de biomasa similares con ciclos más cortos o valores más altos de biomasa con ciclos similares, como se ha propuesto para maíz (Padilla y Otegui, 2005). La superposición parcial entre la aparición de hojas y el desarrollo reproductivo, mencionada previamente, también es una opción interesante y, de hecho, en quí nua la generación de área foliar y el crecimiento de las panojas son parcialmente simultáneos (Ruiz y Bertero, 2008).



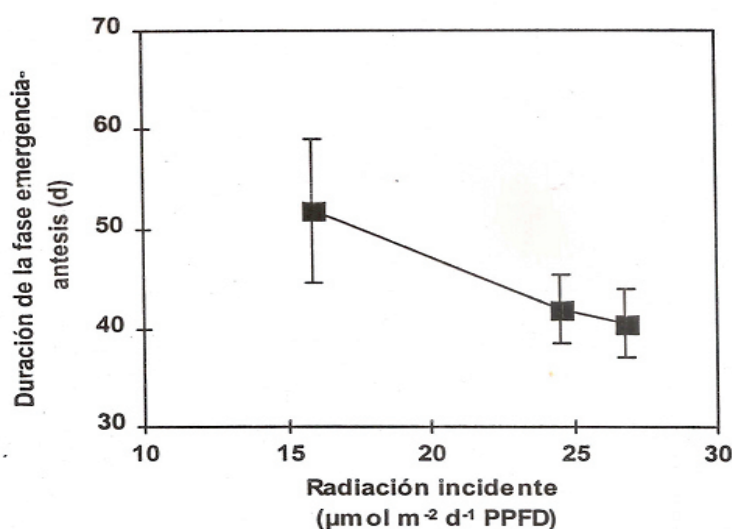
**Figura 9:** Respuesta de la tasa de aparición de hojas (hojas día<sup>-1</sup>) a la temperatura y el fotoperíodo, cv. Amarilla de Maranganí (valles de Cuzco, Perú). Los datos corresponden a experimentos conducidos bajo condiciones controladas en dos fotoperíodos (10.25 y 16 hs) y en el rango entre 10-27 °C en invernáculos bajo radiación natural. La Tb estimada es de 3,1 °C, la óptima de 23 °C, y el filocrono responde a la ecuación: filocrono (°Cd)= 15 + 0,29 x fotoperíodo. Mas detalles sobre el procedimiento experimental en Bertero et al., (2000)

## 6. Otros factores.

Otro factor que parece desempeñar un papel importante en el control del desarrollo, por lo menos en las variedades de altiplano de Bolivia, es la escasez de agua. Geerts et al. (2008) informaron de 30 (de 65 a 95) días de retraso en el tiempo hasta la primera antesis con aumentos en el déficit hídrico, mientras que un estrés similar puede acelerar la madurez en caso que ocurra durante el desarrollo de la semilla. Este hallazgo tiene varias implicaciones. Períodos secos prolongados pueden ocurrir durante la temporada de cultivo coincidiendo con la floración y el llenado de las semillas en este entorno (García et al., 2007). La floración es muy sensible al estrés (García, 2003), y también parte del período crítico para la determinación del rendimiento (Bertero y Ruiz, 2008, Mignone y Bertero, 2008); posponer la floración podría actuar como un mecanismo de escape si eso significara exponer la floración a una condición de disponibilidad de agua más favorable luego del stress.

Un factor adicional de complejidad es el efecto de la radiación sobre la duración del desarrollo y la tasa de aparición de hojas (Bertero et al., 1999b, Bertero 2001a). Cuando se utilizaron modelos generados bajo condiciones controladas para predecir el tiempo hasta YFB y la tasa de aparición de hojas en condiciones de campo, se detectó una subestimación sistemática de ambas variables cuando se simuló el comportamiento

de cultivos creciendo a altas temperaturas. Una de las diferencias entre condiciones fue que bajo condiciones controladas se alcanzó una estabilización (*plateau*) en la tasa de desarrollo para valores de temperatura ~ a 20 °C, que no fue observada a campo (Bertero et al., 1999b); y esta “saturación de la tasa de aumento en tasa de desarrollo” se asoció con una menor radiación incidente bajo condiciones controladas (ver Figura 3 en Bertero et al., 1999b). A partir de esto se propuso como hipótesis que, ante condiciones de alta temperatura, la radiación es un factor limitante en la aceleración de tasa de desarrollo, en forma equivalente a las limitaciones por fuente al analizar la demanda de carbono para procesos de crecimiento (Borrás et al., 2004). Cuando estas variables se simularon asumiendo una relación lineal única entre tasa de desarrollo y temperatura, sin *plateau*, se eliminaron las diferencias sistemáticas entre valores observados y predichos y se logró una alta precisión en la predicción. Una confirmación adicional de esta hipótesis fue el análisis de la relación entre tiempo hasta YFB y radiación incidente (generada mediante diferentes fechas de siembra en invernáculo bajo alta temperatura y fotoperíodo constante) (Fig. 10) que posiblemente explique la respuesta aparente de día largo encontrada en genotipos chilenos de quinua al reducir el fotoperíodo mediante sombreo (Tejeda et al. 2007, Urbina et al. 2010).



**Figura 10:** Asociación entre la radiación incidente ( $\text{mol PPFD m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) y la duración de la fase emergencia-antesis, para plantas creciendo bajo temperatura y fotoperíodo constantes (27 °C y 16 hs, respectivamente) en un invernáculo. Cultivar Sajama.



## Conclusiones.

Los resultados presentados en este capítulo destacan la complejidad del control ambiental del desarrollo en quinua. Entre estos factores el fotoperíodo, seguido por la temperatura, han sido los más estudiados abarcando un rango de variación genotípica, mientras que el déficit hídrico y la radiación solo lo han sido en pocos genotipos y en forma parcial (solo para algunas etapas del desarrollo). Dado que el impacto de factores como el déficit hídrico y la radiación se asocian habitualmente a procesos de crecimiento, puede especularse que la disponibilidad de nutrientes también afectará la fenología de quinua. Resta aun conocer el mecanismo a través del cual estos últimos factores afectan el desarrollo. Entre las fases afectadas, el llenado de granos aparece como el más crítico en condicionar la adaptación latitudinal, al inhibirse fuertemente el llenado ante altas temperaturas y/o días largos. Experiencias de simulación de la duración de fases y la tasa de aparición de hojas en condiciones de campo han sido razonablemente exitosas (e.g. Bertero et al., 1999b, Bertero, 2001, Geerts et al, 2008, Lebonvallet, 2008), aunque el llenado de granos requiere de una mejor comprensión para lograrlo. Toda la información disponible debería resultar de utilidad para la toma de decisiones sobre el manejo del cultivo, la adaptación a nuevos ambientes o el mejoramiento genético, hasta ahora realizada en forma empírica. El alto control genético (G/GxE) de la duración del desarrollo augura un alto grado de éxito en la selección y el manejo. El control genético del desarrollo en quinua no ha sido abordado aún, y es el próximo capítulo en los estudios de desarrollo en quinua.

## Referencias

- Bertero, H.D. (2001a). Effects of photoperiod, temperature and radiation on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions. *Ann. Bot.* 87: 495–502.
- Bertero H D. (2001b). Variabilidad intraespecífica en variables asociadas a la generación de biomasa. Asociación con el origen de los cultivares- Cap 3.13 en: Memorias del 1° Taller Internacional de quinoa: recursos genéticos y sistemas de producción realizado en Lima, Perú, del 10 al 14 de mayo de 1999. Cultivos Andinos versión 1.0 (CD). FAO.
- Bertero H.D. (2003). Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). *Food Rev Int.* 19:87-97..
- Bertero H. D., R. A. Ruiz. (2008). Determination of seed number in Sea Level Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Eur. J. Agron.* 28: 186-194.
- Bertero HD, Ruiz RA, (2010). Reproductive partitioning in sea level quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Field Crops Res* 118:94–101.
- Bertero HD, King RW, Hall AJ. (1999a). Photoperiod-sensitive phases of development in quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) *Field Crops Res* 60:231-243.
- Bertero HD, King RW, Hall AJ. (1999b). Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). *Field Crops Res* 63:19-34.
- Bertero, H.D., D. Medán, A.J. Hall. (1996). Changes in apical morphology during floral initiation and reproductive development in quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). *Annals of Botany* 78: 317-324.
- Bertero HD, King RW, Hall AJ. (2000). Photoperiod and temperature effects on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) *Austral J Pl Physiol* 27:349-356.
- Bertero, H. D., D. Aiscorbe, S. Piriz, A. J. Hall. (2002). Control por el fotoperíodo del llenado de granos en quinoa (*Chenopodium quinoa*). XI Reunión Latinoamericana de Fisiología Vegetal, XXXIV Reunión Argentina de Fisiología Vegetal y I Congreso Uruguayo de Fisiología Vegetal. Punta del Este, 23-25 de octubre de 2002.
- Bertero, H. D., A.J. de la Vega, G. Correa, S. E. Jacobsen, A. Mujica. (2004). Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crops Res.* 89: 299-318.
- Boero, C, J. A. González, F. E. Prado. (2000). Efecto de la temperatura sobre la germinación de diferentes variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Lilloa* 40: 103-108.
- Bois JF, Winkel T, L Homme et al. (2006). Response

- of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: effects on germination, phenology, growth and freezing. *Eur J. Agron.* 25:299-308.
- Borrás, L., G. A. Slafer, M. E. Otegui. (2004). Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res.* 86: 131-146.
- Carmen ML. (1984). Acclimatization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and canihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) to Finland. *Ann. Agric. Fenn.* 23:135-144
- Charles-Edwards, D.A., D. Doley, G.M. Rimmington. (1986). *Modelling Plant Growth and Development*. Academic Press, North Tyde, NSW, Australia, 235 pp.
- Christensen SA, Pratt DB, Pratt C et al. (2007). Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers. *Pl. Genet. Resources: Charact Util* 5:82-95
- Christiansen, J.L., S.E. Jacobsen, S. T. Jørgensen. (2010). Photoperiodic effect on flowering and seed development in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Acta Agriculturae Scan. B.* 60: 539-544.
- Correa Tedesco, (2005). Implicancias de las interacciones genotipo por ambiente en el mejoramiento por adaptación en quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Curti, R.N., Andrade, A.J., Bramardi, S., Velázquez, B., Bertero, H.D. (2012). Ecogeographic structure of phenotypic diversity in cultivated populations of quinoa from Northwest Argentina. *Ann. Appl. Biol.* 160: 114-125
- Evans LT. (1993). *Crop evolution, adaptation and yield*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Mujica, A., S. E. Jacobsen, J. Izquierdo, J. Marathe. (2001). Resultados de la Prueba Americana y Europea de la Quinoa, FAO, UNA-Puno, CIP. 51 pp.
- Flores, A.F.G. (1977). Estudio preliminar de la fenología de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis de grado, Universidad Nacional Técnica del Altiplano, Puno, Perú.
- Füller, H.J. (1949). Photoperiodic responses of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus caudatus*. *Am. J. Bot.* 36, 175-180.
- García Cárdenas, M. (2003). Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an irrigation strategy in the Bolivian Altiplano. Ph D Thesis. Katholieke Universiteit Leuven, Belgium. 184 pp.
- García M, Raes D, Jacobsen SE, Michel T. (2007). Agroclimatic constraints to rainfed agriculture in the Bolivian Altiplano. *J Arid Environ* 71: 109-121.
- Geerts, S. (2008). Deficit irrigation strategies via crop water productivity modeling: Field research of quinoa in the Bolivian Altiplano, Tesis de Doctorado, Universidad de Lovaina. 233 pp.
- Geerts S, Raes D, Garcia M et al. (2006). Agroclimatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: a case study for quinoa. *Agric For Meteorol* 139: 399-412
- Geerts S, Raes D, Garcia M et al. (2008). Indicators to quantify the flexible phenology of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to drought stress. *Field Crops Res.* 108:150-156
- Gómez MB, Aguirre Castro P, Mignone C, Bertero HD. (2011). Can yield potential be increased by manipulation of reproductive partitioning in quinoa? Evidence from gibberellic acid synthesis inhibition using Paclobutrazol. *Funct. Pl. Biol.* 38:420-430
- González FG, Slafer GA, Miralles DJ. (2003). Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats. *Field Crops Research* 81: 17-27.
- Hall, A.E. (2001). *Crop responses to environment*, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Jacobsen SE, AP Bach. (1998). The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Seed Sci. Tech.* 26:515-523.
- Jacobsen SE, Stölen O. (1993). Quinoa—morphology and phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *Eur. J. Agron.* 2:19-29.
- Joffre R, Acho J. (2008). Quinoa, descanso y tholares en el sur de Altiplano Boliviano. *Rev Habitat* 75:38-43

- Johnson D, McCamant J. (1987). Quinoa Research and Development 1987. Sierra Blanca Associates, Denver, Colorado. 7 pp.
- Lawn RJ, Imrie BC, (1994). Exploiting physiology in crop improvement: Matching Genotypes to the Environment. Crop Physiology Abstracts C.A.B. International 20, 467-476.
- Lebonvallet S. (2008). Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'Altiplano Bolivien. Ph D. Thesis, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech). 246 pp.
- Mignone C, Bertero D. (2008). Relación entre la tasa de crecimiento, el número y peso de granos en el cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa*). XIII Latin American/XXVII Argentinean Pl. Physiol. Meeting, 21-24 Sep 2008, Rosario, Argentina.
- Minolta. (1989). Chlorophyll meter SPAD-502. Instruction manual. Minolta Co., Ltd., Radiometric Instruments Operations, Osaka, Japan.
- Miralles, D.J., Ferro, B.C., Slafer, G.A. (2001). Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. Field Crops Res. 71: 211-223.
- Ortiz R, Ruiz-Tapia EN, Mujica-Sanchez A. (1998). Sampling strategy for a core collection of Peruvian quinoa germplasm. Theor. Appl. Genet 96: 475-483.
- Padilla JM, Otegui ME. (2005). Co-ordination between leaf initiation and leaf appearance in field grown maize (*Zea mays*): genotypic differences in response of rates to temperature. Ann Bot 96: 97-107.
- Richards, R. A. (1989). Breeding for drought resistance-physiological approaches. En: Baker, F. W. G. (ed.) Drought Resistance in Cereals. CAB International, Wallingford, pp. 65-79.
- Risi JC, Galwey NW. (1989). The pattern of genetic diversity in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), I. Associations between characteristics, Euphytica, 41:147-167.
- Risi JC, Galwey NW. (1991). Genotype x environment interaction in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa*) in temperate environments. Pl. Breed. 107:141-147.
- Ritchie, J.T. (1991). Specifications of the ideal model for predicting crop yields. En: Muchow, R.C., Bellamy, J.A. (Eds.), Climatic Risk in Crop Production: models and management for the semiarid tropics and subtropics. Proc. Int. Symposium, C.A.B. International, St. Lucia, Brisbane, Australia, pp. 97-122.
- Rojas, W. (2003). Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. Food Rev. Int. 19: 9-23.
- Ruiz, R. A., H. D. Bertero. (2008). Light interception and radiation use efficiency in temperate quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. Eur. J. Agron. 29: 144-152.
- Sivori, E.M. (1945). Fotoperiodismo en *Chenopodium quinoa*. Reacción de la cigota y gametofito femenino. Darwiniana 7: 541-549.
- Tejeda, J.C., Vergara, A., Estevez, A.M., Pinto, M. (2007). Efecto de la extensión del fotoperíodo sobre la producción de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Procedencia del II Congreso Internacional de la Quinoa (Iquique-Chile).
- Urbina J.L.G., Delatorre, J.H., Delfino, I., Martínez, E. (2010). Efecto del fotoperíodo y la temperatura sobre la concentración de saponina en tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) provenientes de diferentes latitudes. Actas del III Congreso Internacional de la Quinoa (Oruro-Bolivia).

## CAPÍTULO 2.2.

# TÍTULO: FISIOLÓGÍA DE LAS SEMILLAS Y RESPUESTA A LAS CONDICIONES DE GERMINACIÓN

\*Autor para correspondencia: Diana CECCATO <[ceccato.diana@inta.gob.ar](mailto:ceccato.diana@inta.gob.ar)>

DIANA CECCATO<sup>a</sup>, JOSÉ DELATORRE-HERRERA<sup>b</sup>, HERNÁN BURRIEZA<sup>c</sup>, DANIEL BERTERO<sup>d</sup>, ENRIQUE MARTÍNEZ<sup>e</sup>, IGNACIO DELFINO<sup>b</sup>, SANDRA MONCADA<sup>b</sup>, DIDIER BAZILE<sup>f</sup>, MARTINA CASTELLÓN<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Banco Base de Germoplasma, IRB, CIRN, INTA, B1686EYR Hurlingham, Bs. As., Argentina.

<sup>b</sup> Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile.

<sup>c</sup> Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, C1428EGA CABA, Argentina.

<sup>d</sup> CONICET-IFEVA /Cátedra de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, UBA, C1417DSE Bs. As., Argentina.

<sup>e</sup> Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, CEAZA, La Serena/Facultad de Ciencias del Mar, UCN-Coquimbo, Chile.

<sup>f</sup> UPR GREEN, CIRAD-ES; TA C-47/F, Campus International de Baillarguet 34398 Montpellier Cedex 5, Francia.

## Resumen

En este capítulo se reúnen los conocimientos sobre el comportamiento germinativo y en conservación de semillas de quinua a través de tres aspectos generales: la respuesta de la germinación a diferentes factores y ante situaciones de estrés, la tolerancia al brotado pre-cosecha y el control de la dormición, y la dinámica de envejecimiento y longevidad potencial de las semillas en conservación. Las semillas de quinua mostraron capacidad de germinar a temperaturas cercanas a cero y tolerancia a exposiciones breves a heladas en algunos casos. Acciones que provienen de zonas salinas y áridas tienen en general mayor tolerancia al estrés hídrico y la salinidad, producto de su adaptación. No obstante, la diferenciación de los efectos de la salinidad en iónico y osmótico reveló diversas respuestas y niveles de tolerancia en acciones de diferente origen. El brotado pre-cosecha es uno de los problemas que limitan la expansión del cultivo de quinua hacia regiones húmedas. El estudio del comportamiento germinativo en acciones con dormición permitió

determinar el efecto de factores ambientales (temperatura y fotoperíodo), hormonales (ABA y  $Ga_3$ ) y estructurales (espesor de cubiertas) sobre el nivel de dormición de semillas de quinua durante su desarrollo, maduración y almacenamiento. Las semillas de quinua poseen la capacidad de tolerar la pérdida de agua y mantener la viabilidad, recuperando las funciones vitales al ser rehidratadas. La cinética de las reacciones de deterioro conducentes a la pérdida de viabilidad está determinada principalmente por el grado de movilidad del agua de multicapas. Entre las reacciones de deterioro se destacan la lipooxidación y la formación de compuestos de Maillard. Existen referencias sobre diferencias en la tolerancia al almacenamiento de diferentes cultivares, pero no son concluyentes en cuanto a la asociación entre la longevidad y las características de las regiones de origen.

## Introducción.

El éxito en el establecimiento de un cultivo requiere de la oportuna siembra de semillas de calidad,



con alta viabilidad y capacidad de germinación, en condiciones ambientales y edáficas adecuadas para permitir una emergencia rápida y uniforme de las plántulas. A su vez, el período entre la siembra y establecimiento de plántulas es particularmente vulnerable al estrés (Carter y Chesson 1996, Bennett 2004). Para una buena adaptación del cultivo en regiones diferentes de las tradicionales, es fundamental tener en cuenta los factores que afectan el proceso de germinación de las semillas. Dada la tolerancia del cultivo de quinua a condiciones de aridez, bajas temperaturas y salinidad, conocer la respuesta de la germinación cuando las semillas son sometidas a estas condiciones permitirá establecer el manejo más apropiado para la siembra en estos ambientes, así como la elección de las variedades u orígenes que mejor se adapten a los mismos.

En cuanto a su capacidad de germinación, es deseable que las semillas germinen rápidamente y sin impedimentos en el momento de la siembra. Sin embargo, una alta capacidad de germinación en las semillas fisiológicamente maduras en las panojas aún no cosechadas puede significar, según las condiciones del ambiente, un alto riesgo de brotado pre-cosecha y el consiguiente deterioro de las semillas (Paulsen y Auld 2004, Gubler-*et al.* 2005, Kermode 2005). En regiones de cultivo templadas, con alta humedad ambiental o alta probabilidad de lluvias durante la maduración de las semillas, la dormición es una característica deseable ya que reduce la capacidad de germinación en la etapa previa a la cosecha (Bertero y Benech-Arnold 2000, Bertero *et al.* 2001). Esta característica puede ser utilizada en programas de mejoramiento adaptativo de la quinua a ambientes húmedos. No obstante, si esa incapacidad de germinar se extiende en el tiempo representará un problema en el momento de la siembra. El control de la dormición debe, por lo tanto, estudiarse cuidadosamente para poder prever el efecto que las condiciones ambientales tendrán sobre el nivel y tasa de salida de dormición (Ceccato-*et al.* 2011).

Por otra parte, una correcta conservación de las semillas asegurará el mantenimiento de su viabilidad al momento de la siembra. La longevidad es entendida como el tiempo que

una semilla permanece viable en determinadas condiciones de conservación y dependerá de la calidad inicial de la semilla, las condiciones de humedad y temperatura a las que se mantiene y una tasa de envejecimiento que normalmente es característica de la especie (Ellis y Roberts 1980). En la quinua esa tasa o ritmo de envejecimiento ha mostrado una variabilidad considerable entre variedades (Castellón 2008, López Fernández 2008). Por ello es relevante conocer los mecanismos que intervienen en el proceso de deterioro y envejecimiento de las semillas y las características de que dependen, y que definen las diferencias en su comportamiento en almacenamiento. El conocimiento de este proceso ayudará a mejorar las condiciones de conservación y optimizar la calidad de las semillas que serán utilizadas para la siembra.

En este capítulo se reúnen los conocimientos sobre el comportamiento germinativo y en conservación de semillas de quinua a través de tres aspectos generales: la respuesta de la germinación a diferentes factores y ante situaciones de estrés, la tolerancia al brotado pre-cosecha y el control de la dormición como alternativa de adaptación a ambientes húmedos, y la dinámica de envejecimiento y longevidad potencial de las semillas en condiciones de conservación.

## **1. Respuesta a las condiciones de germinación.**

### **1.1 Efecto de la temperatura.**

Bois *et al.* (2006) señalan que la temperatura óptima para la máxima germinación en quinua, a la que se alcanza el 100 % de germinación, se presenta entre los 18 y 23 °C. Para el cultivar Olav (seleccionado en Dinamarca a partir de germoplasma chileno) la temperatura óptima para la germinación final máxima se ubicó entre los 15 y 20 °C, mientras que para la tasa de germinación fue de aproximadamente 30 °C día, con una temperatura de base de 3 °C. El requerimiento de tiempo térmico de 30 °C día para la protrusión de radícula en la var. Olav indica además una rápida respuesta a la temperatura (Jacobsen y Bach 1998), aunque duraciones mucho menores se han estimado para genotipos de otros orígenes, como el altiplano (ver capítulo 2.5).

Las bajas temperaturas pueden inducir una

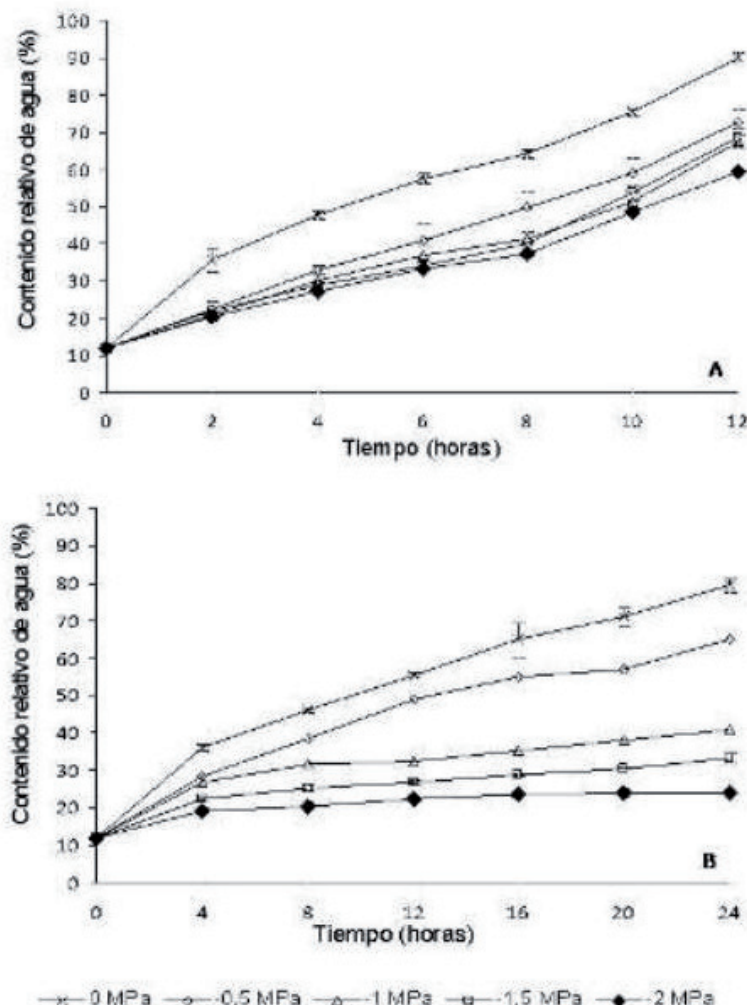
inhibición total en el número de semillas germinadas debido a la muerte del embrión, según lo descrito por Rosa *et al.* (2004), esto sucede porque se afecta la síntesis y activación de proteínas y el comienzo de la degradación de las reservas de la semilla (Bove *et al.* 2001). Semillas de dos accesiones de Salares del norte altiplánico de Chile (Roja y Amarilla) fueron expuestas a heladas alcanzando diferentes umbrales térmicos (0°, -2° y -4° C) en las tres fases de la germinación y posteriormente se evaluó su porcentaje de germinación a 20 °C. La exposición a heladas durante las fases I y II (imbibición y metabólica) redujo fuertemente el porcentaje de germinación en ambas accesiones, desde casi un 80% a más del 95% menos que el testigo en el caso de -4 °C durante la fase I (Delfino 2008). Esto puede deberse a que la aplicación de bajas temperaturas durante el período de imbibición (4 horas), produce congelación del agua en los tejidos, lo que afecta al embrión, y termina finalmente matando a la semilla (Delouche 2002). Durante la fase III (emergencia de la radícula) el efecto fue menor, pero evidenció una diferencia entre las accesiones afectando más a la accesión Amarilla que a la Roja (40 vs. 15% de reducción en la germinación, para los umbrales de 0 y -2 °C), y a su vez ambas fueron más afectadas cuando fueron expuestas a -4 °C (50 y 25% de reducción en la germinación para las accesiones Amarilla y Roja, respectivamente) (Delfino 2008). Según Boero *et al.* (2000), la disminución del proceso germinativo en campo se debe principalmente a las amplias oscilaciones térmicas que ocurren entre las primeras horas del día, con temperaturas que llegan prácticamente al punto de congelamiento, y las horas de la tarde donde el aire o el primer centímetro de suelo pueden alcanzar los 40 °C.

### 1.2 Efecto del estrés hídrico.

El suministro de agua durante la germinación es fundamental para que el proceso se lleve a cabo (Johnston *et al.* 1999). Un estrés hídrico puede ser provocado por falta de agua pero también por bajas temperaturas o alta salinidad. La dificultad que representa para la semilla absorber el agua

del medio circundante se traduce en un mayor tiempo requerido para la reorganización de las membranas, y para el desarrollo de los procesos metabólicos (Tarquis y Bradford 1992; Soeda-*et al.* 2005). Cuanto más bajo sea el potencial osmótico del medio simulando stress salino, mayor será el tiempo requerido para completar la fase II de la germinación (Jeller *et al.* 2003).

Al exponer a las semillas de quinua de una accesión de Salares (Amarilla) y otra de Costa del sur de Chile (Hueque) a un bajo potencial osmótico en el medio de incubación, el proceso germinativo se vio afectado, tal como se muestra en la Figura 1 (Moncada 2009). Soluciones de PEG 8000 a bajos potenciales osmóticos retrasaron la imbibición de las semillas de ambas accesiones. Para la accesión de Salares, los contenidos de agua fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) entre las semillas embebidas con agua destilada y aquellas con solución osmótica a -0,5, -1, -1,5 y -2 MPa de PEG 8000. Llamativamente, en la accesión de Costa el contenido de agua para las semillas embebidas en soluciones con -0,5 MPa se comportó estadísticamente igual al de las semillas embebidas con agua destilada ( $p \leq 0,05$ ). Entre estos tratamientos y aquellos con -1, -1,5 y -2 MPa se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), siendo el tratamiento con -2 MPa aquel donde la imbibición se vuelve más lenta, alcanzando solo un 20% de humedad en las semillas en 24 horas de hidratación. La cinética de imbibición de las semillas de la accesión de Costa (Hueque) es más afectada por los menores potenciales osmóticos. Para estas semillas se observó una disminución de 60% en el contenido relativo de agua al comparar agua destilada y -2 MPa, mientras que para la accesión de Salares (Amarilla) esta diferencia solo fue de 40%, al término del periodo de evaluación (Moncada 2009). Estos resultados concuerdan con las respuestas obtenidas por Delatorre (2008), quien obtuvo una reducción en el porcentaje de germinación para las accesiones Hueque y Amarilla de 50% y 26,2%, respectivamente, a las 24 horas de hidratación en solución de PEG 8000 a -1,4 MPa.



**Figura 1:** Cinéticas de imbibición de semillas de quinua de las accesiones de Salares: Amarilla (A) y de Costa: Hueque (B) tratadas con PEG 8000 a distintos potenciales osmóticos. Los valores corresponden al promedio de cinco repeticiones. Barras verticales indican el error estándar ( $\pm$ ). Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las curvas. Fuente: Moncada 2009.

### 1.3 Efecto de la salinidad.

La disminución en la germinación de semillas provocada por salinidad es el resultado de la acción conjunta de dos tipos de factores estresantes: el déficit hídrico producido por el efecto osmótico de las sales en la solución de suelo, denominado también “sequía osmótica”, y la toxicidad como consecuencia del ingreso excesivo de iones como el  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  en los tejidos (Munns *et al.* 1995; Zhu 2003). Delatorre y Pinto (2009) evaluaron la influencia del estrés salino y sus componentes (factores osmótico e iónico) durante la germinación en accesiones de quinua cultivadas en la zona árida y salina del altiplano o de Salares (Amarilla y Roja) y de Costa sur (Pucura y Hueque)

con condiciones de alta humedad y suelos no salinos, en Chile. Las semillas fueron tratadas con diferentes concentraciones de soluciones salinas (0; 0,2; 0,4; 0,8 y 1,2 M NaCl). El efecto osmótico fue determinado incubando las semillas en una solución isotónica de polietilenglicol (PEG 8000) de osmolaridad equivalente a cada solución salina. El efecto iónico en la reducción de la germinación final fue calculado por diferencia respecto del testigo. Los tratamientos sin sales de todas las accesiones alcanzaron el 100% de germinación a 25 °C. Al aplicar 0,4 M NaCl la germinación final se redujo en un 53% en la accesión Amarilla (Salares) que fue la más resistente y 89,9% en Hueque (Costa), la más susceptible. Los componentes del estrés salino

(osmótico e iónico), tuvieron diferentes magnitudes de influencia en la germinación de la quinua, según la accesión. Así, la accesión Amarilla fue la menos influenciada por ambos factores, especialmente el iónico (27%) que afectó más a Pucura y Roja, así como a Hueque, aunque ésta fue afectada en mayor proporción por el factor osmótico (50%). Según Delatorre (2008), el retraso en el proceso de germinación es otra diferencia que se observa en los tratamientos con sales. Accesiones de Costa tienen normalmente una imbibición más lenta y a su vez son más afectadas en este proceso por la salinidad del medio. Durante la germinación en condiciones salinas se activa también la movilización de carbohidratos. Bewley y Black (1994) señalan que la movilización de los carbohidratos de reserva comienza una vez que la radícula ha emergido. Sin embargo, en el tejido embrionario y en particular en la quinua, esto ocurre antes de la ruptura de la testa (Prego *et al.* 1998). Este mayor consumo de reservas es notorio en accesiones de Costa (Hueque) a las 24 hs de incubación en solución salina (0,4M NaCl), correlacionado con sus mayores tasas de respiración mientras que en accesiones de Salares (Amarilla) se encuentra una mayor disponibilidad de almidón, lo que demuestra un menor consumo (Delatorre 2008).

Aunque los cultivares del norte de Chile se muestran generalmente más tolerantes a la salinidad, como ecotipos de otras latitudes (Koyro y Eisa 2008), hay excepciones observadas en la fisiología de las plantas adultas (Orsini-*et al.* 2011, Ruiz-Carrasco *et al.* 2011) y en la germinación de sus semillas (Cortés-Bugueño y Navarro-Honores 2010). Algunos ecotipos locales de la zona central de Chile presentan sorprendentemente altas tolerancias a la salinidad iónica por NaCl. Esto se atribuye a que en ciertas regiones costeras del centro de Chile las mareas altas entran como una cuña de sal en las desembocaduras de los ríos y al subir los niveles, en terrenos de cultivo ancestral de quinua los suelos se van salinizando. Con ello los campesinos, sin proponérselo, han ido generando una resistencia mayor a la salinidad. En estas zonas costeras se observan incluso campesinos que modifican las riberas de los ríos para hacer piscinas de evaporación y colectan el residuo seco para vender sal de mar. De estas semillas, en el centro-sur de Chile se obtienen rendimientos equivalentes a los de la zona sur (2 t/ha) y mejores que los de la zona norte (<1 t/ha) (Martínez *et al.* 2007).

Chilo *et al.* (2009) estudiaron el efecto combinado de la temperatura (5, 10 y 20 °C) y la salinidad (0;

0,1; 0,2; 0,3 y 0,4 M de NaCl) en las variedades Cica y Real colectadas en Salta, Argentina. La germinación de las semillas fue afectada en su velocidad y luego en su porcentaje final en la medida que disminuyó la temperatura y aumentó la salinidad del tratamiento. Esta combinación de efectos inhibió completamente la germinación a la temperatura de 5 °C y en soluciones de 0,3M y 0,2M de NaCl para Cica y Real respectivamente, demostrando alta tolerancia y aptitud para su cultivo en valles áridos y semiáridos.

## **2. Tolerancia al brotado pre-cosecha y control de la dormición.**

El brotado pre-cosecha es uno de los problemas que limitan la expansión del cultivo de quinua hacia regiones húmedas. En la Pampa Húmeda Argentina es común la ocurrencia de condiciones de alta humedad relativa o lluvias prolongadas en cualquier momento del año. Cuando estas condiciones coinciden con la capacidad de germinación de los granos (granos sin dormición), se produce el brotado de las semillas en la planta madre. El brotado es un fenómeno de frecuente ocurrencia en diversas regiones del mundo y ocasiona pérdidas económicas debidas a reducciones en el rendimiento, calidad para la industria y/o viabilidad de las semillas cosechadas, pudiendo llegar a provocar pérdidas totales. La dormición es una característica propia de las semillas que puede ser utilizada en el proceso de mejoramiento o adaptación de una especie a una zona particular con el fin de aumentar la tolerancia al brotado pre-cosecha. Se entiende por dormición a la condición interna de la semilla que impide su germinación en condiciones hídricas, térmicas y gaseosas que de otro modo serían adecuadas para la misma (Bénech-Arnold *et al.* 2000).

La mayoría de los cultivares de quinua que se habían estudiado hasta poco atrás carecen de dormición, y observaciones a campo confirmaron la existencia de una alta susceptibilidad al brotado en el periodo previo a la cosecha (Bertero y Bénech-Arnold 2000; Bertero *et al.* 2001). Se estudió el comportamiento germinativo de las semillas de dos genotipos de quinua con dormición (2-Want y Chadmo, originarios de Bolivia y Chiloé, Chile, respectivamente), combinando ambientes de cultivo (fechas de siembra), almacenamiento e incubación. El objetivo fue determinar la influencia del ambiente sobre el nivel de dormición en semillas de quinua y los posibles mecanismos involucrados (Ceccato *et al.* 2011).



## 2.1 Control ambiental de la dormición.

Tal como ocurre en otras especies de ciclo primavero-estival (Benech-Arnold *et al.* 2000; Benech-Arnold 2004; Allen *et al.* 2007; Batlla y Benech-Arnold 2007), la salida de dormición en semillas de quinua se manifiesta a través de una ampliación del rango de temperaturas que permiten la germinación, adquiriendo gradualmente luego de cosechadas la capacidad de germinar a temperaturas menores.

Siembras de primavera, en las que el llenado de granos ocurre durante el verano, promueven la dormición en semillas de quinua, mientras que las fechas de siembra en que la madurez ocurre en otoño la reducen. El efecto de la fecha de siembra podría deberse a diferencias en el fotoperíodo y/o las temperaturas experimentadas durante el desarrollo en la planta madre, ya que condiciones de mayor fotoperíodo y temperatura durante esta etapa se asociaron significativamente con mayores niveles de dormición ( $p < 0.05$ ; Ceccato *et al.* 2011). En forma similar, para la var. Olav la germinación a 6 °C fue mayor con el retraso en el momento de cosecha, asociado a la exposición en planta madre a menores temperaturas y días más cortos (Jacobsen *et al.* 1999). Resta evaluar estos efectos bajo condiciones controladas para poder cuantificar independientemente el efecto de cada factor.

Por otra parte, el almacenamiento de las semillas a temperaturas relativamente altas (25 °C vs. 5 °C) acelera el proceso de salida de dormición en ambos genotipos de quinua (Ceccato *et al.* 2011), y también en *C. album* (37 °C vs. 23°C, temperatura ambiente y 4°C; Karssen 1970).

## 2.2 Aspectos estructurales: Importancia de las cubiertas seminales.

Las cubiertas seminales explican una gran parte de la dormición expresada por las semillas. Una perforación a través del episperma y el pericarpio generó un aumento de hasta el 80% en la capacidad de germinación en semillas desarrolladas durante el verano, para dos accesiones de diferente origen (Ceccato 2011). Semillas de *C. polyspermum* respondieron en forma similar al perforado (Jacques 1968) y embriones aislados de otros genotipos de *C. quinoa* alcanzaron el 100% de germinación en madurez fisiológica, mientras que las semillas enteras (con perigonio) no germinaron (Bertero *et al.* 2001).

Este efecto disminuyó en siembras tardías y las

semillas, desarrolladas en invierno, no respondieron al perforado. No obstante, expresaron un nivel de dormición que no estaría impuesto por las cubiertas, revelando la presencia de dormición embrionaria en semillas de quinua (Ceccato 2011). Esta reducción en la dormición impuesta por cubiertas podría estar mediada por la influencia de las condiciones ambientales sobre el espesor y/u otras propiedades de las cubiertas.

Respecto del espesor de las cubiertas, se observó una reducción significativa en siembras tardías de fin de verano-otoño respecto de las primaverales para la accesión boliviana (2-Want), mientras que la accesión chilena, con mayor nivel de dormición, presentó en todas las fechas de siembra un episperma significativamente más grueso, aunque sin cambios en el espesor (Ceccato- 2011). La influencia del ambiente materno sobre las características de las cubiertas seminales se asocia al nivel de dormición en semillas de otras tres especies de *Chenopodium*. En *C. polyspermum* y *C. album*, el espesor de las cubiertas seminales y el poder germinativo de las semillas son afectados por el fotoperíodo experimentado durante su desarrollo (Jacques 1968, Karssen 1970, Pourrat y Jacques 1975). En *C. bonus-henricus*, la altitud a la que se desarrollan las plantas aumenta el espesor y el contenido de polifenoles en las cubiertas de las semillas cosechadas y disminuye su porcentaje de germinación. La temperatura media de los 30 días previos a la cosecha, en tanto, tuvo una correlación positiva con la germinación (Dorne 1981). En estudios arqueológicos se encontró para *C. berlandieri* y *C. quinoa* una disminución en el espesor de las cubiertas seminales asociada a la domesticación, y se sugirió que estaría relacionada con la selección en favor de bajos niveles de dormición (Gremillion 1993 a, b; Bruno 2005, 2006). Sin embargo, aún no se ha verificado una asociación clara entre el espesor de cubiertas y la dormición en estas especies.

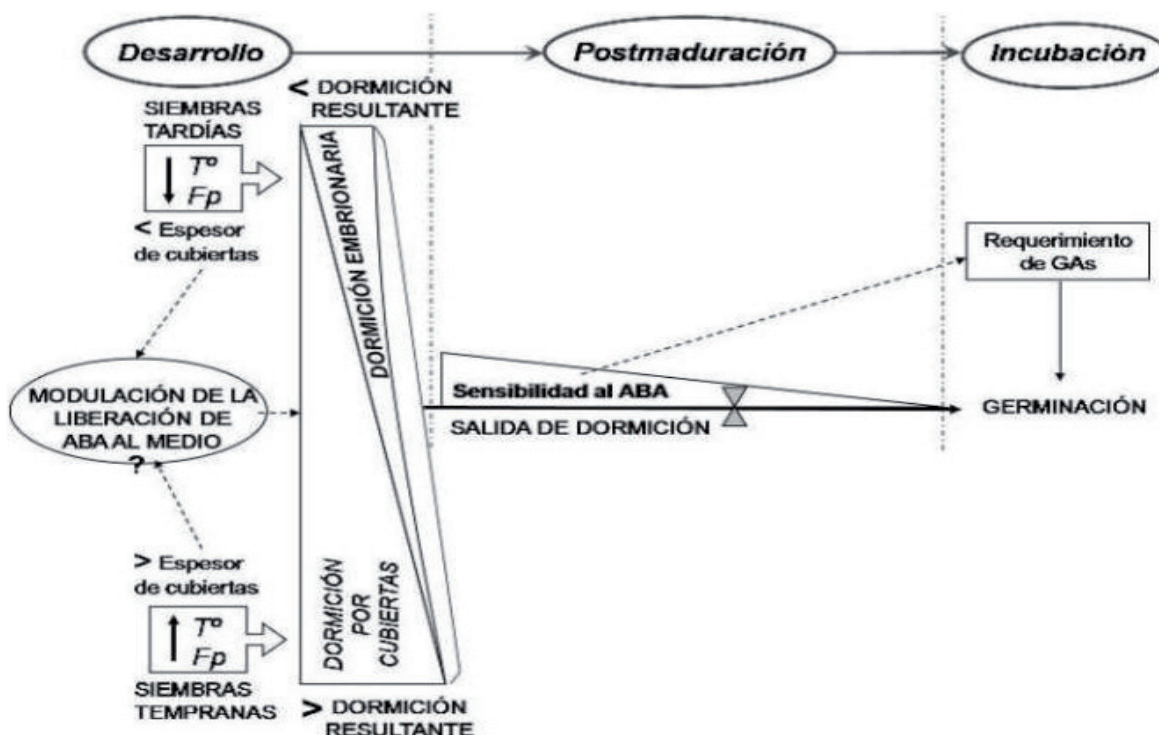
## 2.4 Control hormonal de la dormición.

El control hormonal de la dormición se ejerce a través del balance entre las dos hormonas más importantes en su regulación: ácido abscísico (ABA), que incrementa la dormición, y el ácido giberélico (GA) que la reduce. El impacto de éstas se ejerce por variaciones tanto en el contenido como en la sensibilidad a las mismas (Karssen *et al.* 1983; Bewley y Black 1994; Hilhorst 1995; Steinbach *et al.* 1997; Koornneef *et al.* 2002; Kermode 2005; Feurtado y Kermode 2007). La aplicación de soluciones de inhibidores de la síntesis de

ambas hormonas, por aspersión directa sobre panojas de quinua durante el desarrollo de las semillas, reveló que las semillas de quinua requieren GA para germinar (Ceccato 2011).

La salida de dormición en quinua podría estar mediada por la reducción en su sensibilidad al ABA. Su aplicación en el medio de incubación inhibió la germinación de las semillas y ese efecto disminuyó durante la post-cosecha y más rápidamente a 25 que a 5 °C, asociado con la mayor velocidad de salida de dormición en semillas almacenadas a esta temperatura. Comparando genotipos, la accesión chilena Chadmo fue más sensible y persistente, en forma coherente con su mayor nivel de dormición (Ceccato 2011).

Por otra parte, las cubiertas podrían actuar como una limitación a la salida de inhibidores de la germinación al exterior de la semilla, dado que una mayor cantidad de ABA fue liberada al medio de incubación de semillas perforadas que en semillas enteras. En base a estas observaciones, se propuso como hipótesis que una variación en el espesor de las cubiertas en respuesta al ambiente materno regula la difusión de ABA fuera de la semilla durante la incubación, y este mecanismo participa en la modulación del nivel de dormición (Ceccato 2011). La figura 2 sintetiza las principales instancias de control de la dormición en semillas de quinua. Se presentan los diversos aspectos (ambientales, estructurales y hormonales) que participan en su determinación y regulación, las conexiones entre ellos y las hipótesis planteadas.



**Figura 2.** Modelo conceptual esquemático del control de la dormición en semillas de quinua, incluyendo las relaciones encontradas o hipotéticas entre los diferentes aspectos de su regulación. Líneas punteadas indican regulación, líneas continuas indican efectos directos. Durante el desarrollo de las semillas, las condiciones del ambiente determinan un nivel de dormición que resultará de los niveles de dormición impuesta por cubiertas y embrionaria. Un mecanismo propuesto para la imposición de dormición por cubiertas es a través de la regulación de la salida de ABA por medio de variaciones en el espesor de cubiertas en respuesta al ambiente de cultivo. Durante la postmaduración, la salida de dormición es regulada por la sensibilidad al ABA, que se pierde gradualmente y a una tasa modulada por la temperatura de almacenamiento. Finalmente, la germinación de las semillas estará condicionada a la presencia de GA y la temperatura de incubación. Modificado de Ceccato 2011.

### 3. Longevidad potencial y envejecimiento.

Las semillas de la mayoría de las especies poseen la capacidad de tolerar la pérdida de agua en distintos grados y de mantener la viabilidad durante el período anhidro, recuperando las funciones vitales rápidamente al ser rehidratadas. En cuanto a su conservación, se han clasificado como ortodoxas aquellas semillas que naturalmente se deshidratan hasta un contenido de agua en equilibrio con el ambiente y toleran un posterior secado artificial hasta aproximadamente 5% de contenido de agua sin perder la viabilidad (Ellis *et al.* 1990). La estabilidad de las semillas ortodoxas ha sido un factor crucial en el desarrollo de la agricultura.

Existen tres factores de fundamental importancia en el control de la longevidad de las semillas: el agua, la temperatura y el oxígeno (Roberts y Ellis 1989). La longevidad de las semillas ortodoxas aumenta con la disminución del contenido de agua y de la temperatura, dentro de cierto rango, en una forma cuantificable y predecible (Ellis y Roberts 1980). La predicción de la viabilidad de las semillas durante el almacenamiento es importante tanto para el manejo de colecciones de germoplasma, como para el manejo de producciones comerciales de semillas y su almacenamiento. Si bien las semillas de quinua presentan un comportamiento de tipo ortodoxo, pueden perder viabilidad en muy poco tiempo, más aun en condiciones de mayor temperatura y humedad (Ellis *et al.* 1993).

En cultivares o accesiones de quinua originarias de ambientes contrastantes, procedentes de nivel del mar (Chadmo y NL-6) o altiplano (Sajama y 2-Want), se observaron diferencias en el comportamiento durante el almacenamiento en diferentes condiciones, sin embargo no se ha podido demostrar una relación entre la tolerancia y el origen de las accesiones (Castellón; 2008). Las semillas de cuatro accesiones estudiadas, almacenadas a 43% HR mantuvieron altos valores de germinación normal, germinación y viabilidad. Sin embargo, solo las semillas de la accesión Chadmo mantuvieron, durante 14 semanas, altos niveles de germinación normal, aún en condiciones de almacenamiento poco propicias (75% HR), evidenciando una mayor longevidad que los otros cultivares estudiados (Castellón; 2008).

El contenido de agua es un factor importante

sobre la cinética de las reacciones de deterioro que ocurren en las semillas y el envejecimiento (Justice y Bass 1978; Priestley 1986). En semillas ortodoxas maduras, las reacciones enzimáticas no tendrían un rol importante en el envejecimiento debido a que el metabolismo enzimático requiere contenidos más altos de agua. Sin embargo, algunas reacciones espontáneas no-enzimáticas pueden ocurrir aún a muy bajos contenidos de agua (Priestley 1986; Wettlaufer y Leopold 1991; Sun y Leopold 1995). Estas reacciones pueden ocurrir mediante glicosilación no-enzimática con azúcares reductores, como las reacciones de Maillard y Amadori, o con aldehídos producto de la peroxidación lipídica mediada por radicales libres (Priestley y Leopold 1983; Priestley 1986; Wettlaufer y Leopold 1991; Sun y Leopold 1995; Murthy y Sun 2000). A más altas actividades de agua, ésta se localiza en multicapas como fase condensada y la movilidad del sistema se incrementa, estando ahora el agua disponible para reacciones enzimáticas degradativas. En el equilibrio, a temperatura constante, la actividad del agua (o potenciales agua, una medida del agua que está disponible para participar en diferentes reacciones) de los componentes de una mezcla son iguales, mientras que los contenidos de agua pueden no serlo.

Cuando las semillas se almacenan a temperatura constante en atmósferas con diferentes humedades relativas, sus contenidos de agua gradualmente llegan a un equilibrio con el medio, de manera tal que el contenido de agua final será función de la humedad relativa a la cual son almacenadas. La humedad relativa y el contenido de agua pueden ser representados en curvas de equilibrio o isothermas de sorción. Las isothermas de sorción de semillas ortodoxas poseen generalmente una forma sigmoidea que resulta indicativa de las tres regiones de interacción del agua (Vertucci y Roos 1993; Walters 1998) y varían entre diferentes especies debido a las diferencias en la composición de las semillas (Vertucci y Leopold 1987). La intensidad y naturaleza de la interacción del agua con los sólidos de la semilla incide sobre la velocidad de las reacciones de deterioro (Vertucci y Roos 1990; Leopold y Vertucci 1989). Por lo tanto, las características de sorción de las semillas pueden tener influencia sobre la variación de la longevidad de las semillas entre diferentes especies (Eira *et al.* 1999).

Isotermas de sorción obtenidas en cuatro accesiones de quinua (Chadmo, NL-6, 2-Want y Sajama) fueron similares; sin embargo su susceptibilidad al deterioro fue distinta (Castellión *et al.* 2010 b). De esta manera, la falta de correlación entre la longevidad y las propiedades de sorción en las diferentes accesiones indica que el contenido de agua en multicapas no es *per se* un factor limitante en el deterioro de las semillas.

El estado del agua y los cambios metabólicos han sido estudiados mediante la resonancia magnética nuclear protónica de baja resolución (TD-NMR) en muchos sistemas biológicos. Utilizando esta técnica en las accesiones antes mencionadas, Chadmo mostró los valores de relajación transversal asociada a los protones del agua más bajos indicando una menor movilidad molecular en relación a otros cultivares estudiados (Castellión *et al.* 2010 b).

Aunque las isotermas de sorción de agua fueron muy similares, el grado de movilidad del agua de multicapa correlaciona con la pérdida de viabilidad y puede ser considerado como un factor determinante de la cinética de las reacciones de deterioro involucradas en la pérdida de viabilidad de estas semillas. De esta manera, la información provista por el tiempo de relajación transversal del agua permitiría predecir la longevidad de diferentes cultivares. (Castellión *et al.* 2010 b)

Las reacciones de Amadori y Maillard se refieren a una serie de complejas reacciones en las cuales las proteínas se agregan, contribuyendo al envejecimiento de las semillas mediante la alteración química de proteínas funcionales, reduciendo entonces la capacidad metabólica y la capacidad del sistema metabólico de limitar el daño mediado por radicales libres y de reparar el daño durante la germinación (Murthy *et al.* 2002).

En quinua, en estudios realizados con los cultivares Ollagüe y Baer II, se observó un significativo aumento de proteínas insolubles durante el almacenamiento, asociadas a glicosilación por reacciones de Maillard, y se logró correlacionar esto con la longevidad. Sin embargo, la solubilidad de las proteínas fue parcialmente restaurada mediante *priming* en ambos cultivares, independientemente de su capacidad de germinación (Castellión *et al.* 2010 a).

El análisis de fluorescencia de proteínas ha sido utilizado tradicionalmente para estudiar la

modificación de proteínas debida a las reacciones de Maillard durante el almacenamiento de semillas. El espectro de fluorescencia de productos de glicosilación avanzada varía entre especies (Wettlaufer y Leopold 1991; Murthy y Sun 2000; Murthy *et al.* 2002; Baker y Bradford 1994; Murthy *et al.* 2003) y muchas veces no es eficiente, como en el caso de la quinua, para correlacionar dichos ensayos con el deterioro de las semillas, atribuyendo esto a la interferencia con otros compuestos fluorescentes presentes en ellas (Baker y Bradford 1994; Castellión *et al.* 2010 a). La cuantificación de carboximetilisina es un método alternativo y novedoso para la cuantificación de AGEs (productos de glicosilación avanzada). -Mediante este método se detectaron altos niveles de AGEs en semillas envejecidas de quinua con bajo poder de germinación. Semillas sometidas a *priming* mostraron una ligera reducción en los AGEs, mostrando una fuerte asociación entre estos y el envejecimiento en semillas de quinua (Castellión *et al.* 2010 a).

La composición de los lípidos de reserva en la semilla está determinada por condiciones genéticas (Knowles 1988) y ambientales, como la luz y la temperatura, durante el desarrollo (Tremolières *et al.* 1982). Sin embargo, a causa del envejecimiento que ocurre en las semillas durante el almacenamiento, los ácidos grasos insaturados son susceptibles de ser peroxidados, siendo aquellos poliinsaturados más susceptibles que los monoinsaturados. En consecuencia, la variación de la composición lipídica durante el almacenamiento puede ser empleada como indicadora del envejecimiento.

Las proporciones de ácidos grasos de las semillas de las accesiones de quinua Chadmo y Sajama, muestran como diferencia principal una diferente proporción de abundancia relativa de los ácidos grasos oleico (monoinsaturado) y linoleico (poliinsaturado). Sorprendentemente, la accesión que resultó más rica en ácidos grasos poliinsaturados susceptibles a la oxidación fue Chadmo, aquella que mejor tolerancia ha mostrado al almacenamiento (Castellión 2008).

De existir daño sobre los ácidos grasos debido al envejecimiento, los efectos de la peroxidación lipídica se evidenciarían como una disminución en la composición relativa de ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico y linolénico) y la formación de ácidos grasos de cadena más corta. Por otro lado, en las accesiones analizadas, no se detectaron indicadores



de ocurrencia de peroxidación lipídica como son la presencia de ácidos grasos de cadenas cortas o variaciones en las composiciones relativas de ácidos grasos poliinsaturados durante el almacenamiento. El análisis de la composición relativa de ácidos grasos poliinsaturados así como la sumatoria de los contenidos relativos de ácidos linoleico y linolénico no mostraron correlación con la germinación y viabilidad en las accesiones estudiadas (Castellión 2008).

En las mismas accesiones se reportó una alta estabilidad en las membranas durante el almacenamiento, cuyo deterioro está asociado a la autooxidación de ácidos grasos (Castellión 2008). Por otro lado, se ha reportado una alta estabilidad oxidativa de los lípidos en semillas de quinua (Ng-*et al.* 2007). Todo esto podría ser explicado por el alto contenido de tocoferoles previamente reportado en semillas de esta especie, dado que los mismos impedirían la propagación de la reacción actuando como antioxidantes- (Ruales y Nair 1992).

### Discusión.

La gran variabilidad genética presente a lo largo de la distribución geográfica de la quinua permite encontrar genotipos adaptados a condiciones extremas tanto climáticas como edáficas, aun en una etapa tan vulnerable en el ciclo de un cultivo como es la germinación. Esto favorece la posibilidad de encontrar accesiones adaptadas o adaptables a las más diversas condiciones y alienta la expansión de este cultivo en el mundo. Por eso es de gran utilidad conocer los límites de tolerancia a condiciones adversas en las diversas accesiones y aquellas cualidades que las caracterizan, para facilitar así su selección y/o su inclusión en programas de mejoramiento sobre la base de un profundo conocimiento de la respuesta germinativa a diferentes factores de estrés.

Si bien la temperatura óptima para la germinación de las semillas de quinua se ubica entre 15 y 23° C, la temperatura de base calculada para la var. Olav muestra su capacidad de germinar a temperaturas cercanas a cero. Exposiciones temporales a temperaturas bajo cero (heladas) afectan la germinación en quinua, pero esto depende de la etapa de la germinación en la que ocurran. Durante la etapa III los efectos son menores y dependientes de la accesión, por lo que pueden obtenerse buenos

porcentajes de germinación en muchos casos. Bajos potenciales osmóticos producto del déficit hídrico también afectan la germinación pero en menor medida en aquellas accesiones que provienen de zonas salinas y áridas, mostrando su adaptación y alta tolerancia al estrés hídrico. En cuanto a la salinidad, las accesiones de Salares se muestran más tolerantes, como es esperable. No obstante, al diferenciar los efectos (osmótico e iónico) se encuentra una alta tolerancia en accesiones de Costa del centro de Chile, específicamente al factor iónico (Delatorre y Pinto 2009).

La dormición se presenta como un carácter infrecuente en semillas de quinua, considerando la gran variabilidad de genotipos de la especie. Su regulación es compleja, combinando factores físicos y hormonales, que a su vez son influenciados por el ambiente. Es necesario identificar marcadores moleculares, más simples y económicos que los fisiológicos, e incorporarlos a programas de mejoramiento, con lo que este carácter podría mejorar el desempeño de cultivos de quinua en regiones cálidas y húmedas, y reducir las pérdidas debidas al brotado pre-cosecha. A su vez, el manejo de la fecha de siembra es una opción para lograr que la influencia del ambiente favorezca un nivel de dormición adecuado.

Durante el almacenamiento, las semillas de quinua han demostrado tener una dinámica de envejecimiento significativamente variable entre accesiones o cultivares. Por ello, los parámetros calculados para estimar la longevidad de las semillas en esta especie (constantes de la ecuación de viabilidad) pueden ser poco precisos al intentar predecir cuánto tiempo mantendrá su viabilidad un lote de semillas en particular. Sin embargo, ciertas características de las semillas han mostrado correlación con la dinámica de envejecimiento entre accesiones. Así, la movilidad del agua de multicapas y la insolubilización de proteínas pueden medirse y ser utilizadas como indicadores para predecir la longevidad de semillas en diferentes accesiones de quinua. Por otro lado, la composición lipídica no resulta un buen indicador debido a la alta estabilidad oxidativa de los lípidos que componen las semillas.

Resulta llamativo que la accesión Chadmo haya demostrado un alto nivel de dormición y tolerancia al brotado pre-cosecha, y a su vez una

particular tolerancia a condiciones adversas de almacenamiento, lo que le asegura una longevidad mayor en relación a otras accesiones o cultivares. No se ha demostrado hasta el momento si existe alguna relación causal entre ambos caracteres.

### Referencias.

Allen P, R Benech-Arnold, D Batlla y K Bradford (2007).-Modeling of seed dormancy. En Bradford K y H Nonogaki (eds). *Seed Development, Dormancy and Germination*, 72-112. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK.

Batlla D y R Benech-Arnold (2007). Predicting changes in dormancy level in weed seed soil banks: Implications for weed management. *Crop Protection* 26, 189-197.

Baker EH y KJ Bradford (1994). The fluorescence assay for Maillard product accumulation does not correlate with seed viability.-*Seed Science Research* 4, 103-106.

Benech-Arnold R (2004). Inception, Maintenance and Termination of Dormancy in Grain Crops: Physiology, Genetics and Environmental Control. En Benech-Arnold R y R Sánchez (eds). *Handbook of Seed Physiology: Applications to Agriculture*, 169-198. The Haworth Press, Binghamton, NY.

Benech-Arnold R, R Sánchez, F Forcella, B Kruk y C Ghersa (2000). Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research* 67, 105-122.

Bennett MA (2004). Seed and agronomic factors associated with germination under temperature and water stress. En Benech-Arnold R y R Sánchez (eds). *Handbook of Seed Physiology: Applications to Agriculture*, 97-123. The Haworth Press, Binghamton, NY.

Bertero D, D Aiscorbe, S Piriz y R Benech-Arnold (2001). Susceptibilidad al brotado pre-cosecha en quinoa (*Chenopodium quinoa*). Décimo Congreso Internacional de Cultivos Andinos, Jujuy.

Bertero D y R Benech-Arnold (2000). Release from dormancy during seed development in quinoa: Variation associated to cultivar origin. ASA (American Society of Agronomy), CSSA (Crop Science Society of America), SSSA (Soil Science Society of America) Meeting, Minnessota.

Bewley J y M Black (1994).-*Seeds: Physiology of*

*Development and Germination*. Plenum-Press, New York.

Boero C, J González y F Prado (2000). Efecto de la temperatura sobre la germinación de diferentes variedades de quinoa (*Chenopodium-quinoa* Willd.). *Lilloa* 40, 103-108.

Bois JP, T Winkel, J Lhomme, JP Rafailac y ARocheteau (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium-quinoa*-Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy* 25, 299-308.

Bove J, M Jullien yP Grappin (2001). Functional genomics in the study of seed germination.-*Genome-Biology*-3 (1), reviews1002.1-1002.5.

Bruno M (2005). ¿Domesticado o silvestre? Resultados de la investigación de semillas de *Chenopodium*-en Chiripa, Bolivia (1500-100 A.C.). *Textos-Antropológicos* 15, 39-50.

Bruno M (2006). A morphological approach to documenting the domestication of *Chenopodium* in the Andes.-En Zeder M, D Bradley, E Emshwiller y B Smith (eds). *Documenting Domestication: New genetic and archaeological paradigms*, 32-45.-University of California Press.

Carter L y J Chesson (1996). Two USDA researchers develop a moisture-seeking attachment for crop seeders that is designed to help growers plant seed in soil sufficiently moist for germination. *Seed-World* 134, 14-15.

Castelli ML (2008). Procesos de deterioro y mecanismos de protección y reparación involucrados en la pérdida diferencial de la viabilidad durante el almacenamiento en semillas de *Chenopodium-quinoa*-Willd. 116 p. Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área Ciencias Biológicas.

Castelli M, S Matiacevich, -MP Buera y S Maldonado (2010-a).-Protein deterioration and longevity of quinoa seeds during long-term storage. *Food Chemistry* 121, 952-958.

Castelli M, S Maldonado y P Buera (2010 b). Molecular mobility and seed longevity in *Chenopodium quinoa*. En *Water Properties in Food, Health, Pharmaceutical and Biological Systems: ISOPOW* 10.

- Ceccato D, D Bertero y D Batlla (2011). Environmental control of dormancy in quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds: two potential genetic resources for pre-harvest sprouting tolerance. *Seed-Science-Research* 21, 133-141.
- Ceccato D (2011). Efecto de las condiciones ambientales durante el desarrollo, maduración y almacenamiento sobre la dormición en semillas de quinoa (*Chenopodium-quinoa*-Willd.) con tolerancia potencial al brotado pre-cosecha. 203 p. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Chilo G, M Vacca, R Carabajal y M Ochoa (2009). Efecto de la temperatura y salinidad sobre la germinación y crecimiento de plántulas de dos variedades de *Chenopodium-quinoa*. *Agriscientia* 26, 15-22.
- Cortés-Bugueño D y J Navarro-Honores (2010). Evaluación de efectos simples y combinados de salinidad y nutrientes en la germinación y vigor de diez ecotipos de quinoa (*Chenopodium-quinoa*-Willd). Seminario de Título para optar al título de Ingeniera Agrónoma y al grado académico de Licenciada en Agronomía. Universidad de La Serena, Chile.
- Delatorre J y M Pinto (2009). Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa (*Chenopodium quinoa*-Willd.) selections.-*Chilean-Journal of Agricultural-Research* 69, 477-485.
- Delatorre J (2008). Efecto de la salinidad sobre la germinación y la fotosíntesis durante los primeros estados de crecimiento y desarrollo de ecotipos nativos de quinoa (*Chenopodium-quinoa*-Willd). 129 p. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias. Universidad de Chile.
- Delfino I (2008). Efecto de las bajas temperaturas sobre los estadios fenológicos en dos selecciones de quinoa (*Chenopodium-quinoa*-Willd.) del altiplano chileno. 120 p. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile.
- Delouche J (2002). Germination and deterioration in seeds.-*Seed News Review* 6, 6.
- Dorne A (1981). Variation in seed germination inhibition of *Chenopodium bonus-henricus* in relation to altitude of plant growth.-*Canadian Journal of Botany* 59, 1893-1901.
- Eira MTS, C Walters, LS Caldas, LC Fazuoli, JB Sampaio y MCLL Dias (1999). Tolerance of *Coffea* spp. seeds to desiccation and low temperature. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*-11, 97-105.
- Ellis RH, TD Hong, MC Martin, F Pérez-García y C Gómez-Campo (1993). The long term storage of seeds of seventeen crucifers at very low moisture contents. *Plant Varieties and Seeds* 6, 75-81.
- Ellis RH, TD Hong, EH Roberts y KL Tao (1990). Low moisture content limits to relations between seed longevity and moisture. *Annals of Botany* 65, 493-504.
- Ellis R y E Roberts (1980). Improved equations for prediction of seed longevity.-*Annals of Botany* 45, 13-30.
- Feurtado A y A Kermode (2007). A merging of paths: abscisic acid and hormonal cross-talk in the control of seed dormancy maintenance and alleviation. En Bradford K y H Nonogaki (eds). *Seed Development, Dormancy and Germination*, 176-223. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK.
- Giri GS y-WF Schillinger (2003).-Seed priming winter wheat for germination, emergence and yield.-*Crop-Science* 43, 2135-2141.
- González-Zertuche L y A Orozco-Segovia (1996). Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda-brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58, 15-30.
- Gremillion K (1993 a). Crop and weed in prehistoric eastern North America: The *Chenopodium*-example. *American Antiquity* 58, 496-509.
- Gremillion K (1993 b). The evolution of seed morphology in domesticated *Chenopodium*: An archaeological case study. *Journal of Ethnobiology* 13, 149-169.
- Gubler F, AA Millar y JV Jacobsen (2005). Dormancy release, ABA and pre-harvest sprouting.-*Current Opinion in Plant Biology* 8, 183-187.
- Hilhorst H (1995). A critical update on seed dormancy. I. Primary dormancy. *Seed Science Research* 5, 61-73.
- Jacobsen SE y AB Bach (1998). The influence of temperature on seed germination rate in quinoa

(*Chenopodium-quinoa*-Willd).-Seed Science and Technology 26, 515-523.

Jacobsen S-E, B Jørnsgård, J Christiansen y O Stølen (1999). Effect of harvest time, drying technique, temperature and light on the germination of quinoa (*Chenopodium-quinoa*).-Seed Science and Technology 27, 937-944.

Jacobsen SE, A Mujica y CR Jensen (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa*-Willd) to adverse abiotic factors.-Food Reviews International 19(1-2), 99-109.

Jacques R (1968). Action de la lumière par l'intermédiaire du phytochromesur la germination, la croissance-et le développement de *Chenopodium-polyspermum* L. Physiologie-Végétale 6, 137-164.

Jeller H, S Perez y J Raizer (2003).-Water uptake, priming, drying and storage effects in *Cassia excelsa*-Schrad seeds.-Brazilian Journal of Biology 63(1), 61-68.

Johnston M, M Pinto, G Fernández y A Riquelme (1999).-Curso: Fisiología de la germinación de semillas. 100 p. Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile.

Justice OL y LN Bass (1978). Principles and practices of seed storage. US Government printing office, Washington, D.C.

Karssen C (1970). The light promoted germination of the seeds of *Chenopodium album* L. III. Effect of the photoperiod during growth and development of the plants on the dormancy of the produced seeds.-Acta-Botanica-Neerlandica 19, 81-94.

Karssen C, D Brinkhorst-van der Swan, ABreekland y M Koornneef (1983). Induction of dormancy during seed development by endogenous abscisic acid: studies on abscisic acid deficient genotypes of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.-Planta 157, 158-165.

Kermode A (2005). Role of abscisic acid in seed dormancy.-Journal of Plant Growth Regulation 24, 319-344.

Knowles PF (1988). Recent advances in oil crop breeding. En E.H. Applewhite (ed.), Proceedings of the World Conference on Biotechnology for the Fats and Oils Industry, 35-38. American Oil Chemists' Society.

Koornneef M, L Bentsink y H Hilhorst (2002).-Seed dormancy and germination.-Current Opinion in Plant Biology 5, 33-36.

Koyro H-W y SS Eisa (2008). Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa*-Willd.-Plant and Soil 302, 79-90.

Leopold AC y CW Vertucci (1989). Moisture as a regulator of physiological reaction in seeds. En Stanwood PC y MB McDonald (eds.).-Seed Moisture, 51-67. CSSA Special Publication Nº 14. Crop Science Society of America, Madison.

López Fernández MP (2008). Longevidad de las semillas de nueve cultivares de *Chenopodium-quinoa*-Willd., procedentes de regiones contrastantes: Ecuación de la viabilidad y rol de las cubiertas seminales. 61 p. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Moncada S (2009). Hidro y osmoacondicionamiento de semillas de quinua y sus efectos sobre la germinación a temperatura subóptima. 110 p. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile.

Mujica A (1988). Parámetros genéticos e índices de selección en quinua (*Chenopodium-quinoa*-Willd.). 158 p. Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Mujica A, J Izquierdo y J-P Marathee (2000). Capítulo I. Origen y descripción de la quinua. Disponible en: [www.fao.org](http://www.fao.org). Revisada el 15 de octubre de 2007

Munns R, D Schachtman y A Condon (1995). The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley.-Australian Journal of Plant Physiology 22, 561-569.

Murthy UMN, Y Liang, PP Kumar y WQ Sun (2002). Non-enzymatic protein modification by the Maillard reaction reduces the activities of scavenging enzymes in *Vigna radiata*. Physiologia Plantarum-115, 213-220.

Murthy UMN y WQ Sun (2000). Protein modification by the Amadori and Maillard reactions during seed storage: roles of sugar hydrolysis and lipid peroxidation. Journal of Experimental Botany 51, 1221-1228.

NgSC, A Anderson, J Coker y M Ondrus (2007).



- Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Chemistry* 101 (1), 185-192.
- Orsini F, M Accorsi, G Gianquinto, G Dinelli, F Antognoni, KB Ruiz-Carrasco, EA Martínez, M Alnayef, I Marotti, S Bosi y S Biondi (2011). Beyond the ionic and osmotic response to salinity in *Chenopodium quinoa*: functional elements of successful halophytism. *Functional Plant Biology* 38, 818-831.
- Paulsen GM y AS Auld (2004).-Preharvest Sprouting of Cereals.-En Benech-Arnold R y R Sánchez (eds). *Handbook of Seed Physiology: Applications to Agriculture*, 199-219. The Haworth Press, Binghamton, NY.
- Pourrat Y y R Jacques (1975). The influence of photoperiodic conditions received by the mother plant on morphological and physiological characteristics of *Chenopodium-polyspermum*-L. seeds. *Plant Science Letters* 4, 273-279.
- Prego I, S Maldonado y M Otegui (1998). Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*-Willd.-*Annals of Botany* 82, 481-488.
- Priestley, DA (1986). *Seed Aging: Implications for Seed Storage and Persistence in the Soil*. University Press, Comstock, Cornell.
- Priestley DA y AC Leopold (1983). Lipid changes during natural ageing of soybean seeds. *Physiologia Plantarum* 59, 467-470.
- Roberts EH y RH Ellis (1989). Water and seed survival. *Annals of Botany* 63, 39-52.
- Rosa M, M Hilal, JA González y FE Prado (2004). Changes in soluble carbohydrates and related enzymes induced by low temperature during early developmental stages of quinoa (*Chenopodium-quinoa*) seedlings. *Journal of Plant Physiology* 161, 683-689.
- Ruales J y BM Nair (1992). Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 42, 1-12.
- Ruiz-Carrasco KB, F Antognoni, AK Coulibaly, S Lizardi, A Covarrubias, EA Martínez, MA Molina-Montenegro, SBiondi y AZurita-Silva (2011). Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa*-Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression.-*Plant Physiology and Biochemistry* 49, 1333-1341.
- Soeda Y, MC Konings, O Vorst, A Van Houwelingen, G Stoopen, C Maliepaard, G Kodde, R Bino, S Groot yA Van Der Geest (2005). Gene expression programs during *Brassica oleracea*-seed maturation, osmopriming, and germination are indicators of progression of the germination process and the stress tolerance level. *Plant Physiology* 137, 354-368.
- Steinbach H, R Benech-Arnold y R Sánchez (1997). Hormonal regulation of dormancy in developing sorghum seeds.-*Plant Physiology* 113, 149-154.
- Sun WQ y AC Leopold (1995). The Maillard reaction and oxidative stress during ageing of soybean seed. *Physiologia Plantarum* 94, 94-104.
- Tarquis A y K Bradford (1992). Prehydration and priming treatments that advance germination also increase the rate of deterioration of lettuce seeds. *Journal-of Experimental Botany* 43: 3, 307-317.
- Tremolieres A, JP Dubacq y D Drapier (1982). Unsaturated fatty acids in maturing seeds of sunflower and rape: Regulation by temperature and light intensity. *Phytochemistry* 21 (1), 41-45.
- Vertucci CW y EE Roos (1993). Theoretical basis of protocols for seeds storage: II. The influence of temperature on optimal moisture levels. *Seed Science Research* 3, 201-213.
- Walters C (1998). Understanding the mechanisms and kinetics of seed ageing. *Seed Science Research* 8, 223-244.
- Wettlaufer SH y AC Leopold (1991). Relevance of Amadori and Maillard products to seed deterioration. *Plant Physiology* 97, 165-169.
- Zhu JK (2003). Regulation of ion homeostasis under salt stress.-*Current Opinion in Plant Biology* 6, 441-445.

## CAPÍTULO 2.3.

## TÍTULO: TOLERANCIA A CONDICIONES SALINAS

\*Autor para correspondencia: Stefania BIONDI <[stefania.biondi@unibo.it](mailto:stefania.biondi@unibo.it)>

STEFANIA BIONDI <sup>a</sup>, KARINA B RUIZ <sup>b</sup>, ENRIQUE A MARTÍNEZ <sup>c,d</sup>, ANDRÉS ZURITA-SILVA <sup>e</sup>, FRANCESCO ORSINI <sup>g</sup>, FABIANA ANTOGNONI <sup>h</sup>, GIOVANNI DINELLI <sup>f</sup>, ILARIA MAROTTI <sup>g</sup>, GIORGIO GIANQUINTO <sup>g</sup>, SARA MALDONADO <sup>h</sup>, HERNÁN BURRIEZA <sup>h</sup>, DIDIER BAZILE <sup>i</sup>, VERENA ISABELLE ADOLF <sup>j</sup>, SVEN-ERIK JACOBSEN <sup>j</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, via Irnerio 42, 40126 Bologna, Italia

<sup>b</sup> Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile. Av. Santa Rosa 11315, 8820808 La Pintana, Casilla 1004, Santiago, Chile

<sup>c</sup> Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Colina El Pino s/n, La Serena, Chile

<sup>d</sup> Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile

<sup>e</sup> Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro de Investigación Intihuasi, Colina San Joaquín s/n, Casilla 36-B, La Serena, Chile

<sup>f</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Università di Bologna, viale Fanin 44, 40127 Bologna, Italia

<sup>g</sup> Dipartimento di Scienze della Qualità della Vita, Università di Bologna, Corso D'Augusto 237, 47921 Rimini, Italia

<sup>h</sup> Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, C1428EGA Ciudad de Buenos Aires, Argentina

<sup>i</sup> UPR-GREEN, CIRAD-ES; TA C-47/F, Campus International de Baillarguet 34398 Montpellier Cedex 5, Francia

<sup>j</sup> Facultad de Ciencias de la Universidad de Copenhague, Højbakkegaard Allé 13, DK-2630 Taastrup, Dinamarca

**Resumen:**

La salinidad está hoy entre las restricciones más extendidas en la agricultura de regadío. Así, la tolerancia a la sal es un rasgo agronómicamente importante que está recibiendo cada vez más atención entre los científicos de todo el mundo. La quinua es tolerante a la salinidad del suelo y otros factores ambientales adversos, y por consiguiente atrae la atención de los investigadores como un cultivo posible en un escenario mundial cambiante en el que la escasez de los recursos hídricos y el aumento de la salinización del suelo y el agua son las principales causas de la pérdida de cultivos. La

tolerancia excepcional de la quinua a la salinidad, heladas, sequías y otros tipos de estrés abiótico también hace que sea una especie modelo para la investigación de los mecanismos celulares, fisiológicos, biomoleculares y morfológicos en la base de la tolerancia al estrés en halófitas y en las plantas en su conjunto. Hay ecotipos de quinua adaptadas al valle, altiplano, salares, el nivel del mar y los trópicos, que muestran una amplia variabilidad genética de la tolerancia a la salinidad. Por esta razón, la quinua representa un recurso valioso para la selección del material más adecuado para la obtención de nuevas variedades adaptadas a diferentes condiciones ambientales

y geográficas. En este capítulo, se describen los estudios científicos sobre la tolerancia a la salinidad en la quinua realizados en la última década por numerosos grupos de investigación que operan en al menos nueve países diferentes. Nos centramos en los estudios en los que se comparan diferentes genotipos de quinua por su respuesta a condiciones de salinidad, lo que demuestra que la tolerancia a la sal es un rasgo complejo y multigénico que implica una gran cantidad de adaptaciones fisiológicas y estructurales. Se reportan los resultados disponibles hasta ahora sobre el efecto de la salinidad sobre las propiedades nutricionales de la quinua.

### 1. Introducción.

La quinua pertenece a las quenopodiáceas (familia Amaranthaceae), un grupo de plantas que comprende el mayor número de géneros halófitos (es decir, “amantes de la sal”). La quinua es considerada como una halófita facultativa y algunas variedades son capaces de hacer frente a niveles tan altos de salinidad como los presentes en el agua de mar, es decir, la conductividad eléctrica (CE) de *ca.* 50 dS/m (correspondiente a aproximadamente 600 mM de NaCl). Por lo tanto no es sorprendente que la quinua crezca en suelos salinos, desde los salares del altiplano boliviano a las zonas costeras de Chile. La naturaleza halófita de la quinua ha sido confirmada también en condiciones experimentales (en maceta e hidropónico). En un experimento de invernadero, Hariadi *et al.* (2011) probaron seis niveles de salinidad durante 70 días en el cultivar (cv.) Titicaca y observaron un efecto inhibitorio significativo sobre la germinación de las semillas sólo para concentraciones superiores a 400 mM de NaCl, mientras que el crecimiento óptimo de las plantas se obtuvo entre 100 y 200 mM de NaCl. Esto está de acuerdo con resultados previos que muestran que el rendimiento de la quinua es más alto bajo condiciones moderadamente salinas (10-20 dS m<sup>-1</sup>) (Jacobsen *et al.* 2003).

La quinua también es tolerante a otros tipos de factores ambientales adversos (colectivamente conocidos como “estrés abiótico”), tales como las heladas (Jacobsen *et al.* 2005, 2007; Rosa *et al.* 2009), y la sequía (Bosque-Sánchez *et al.* 2003; García *et al.* 2003, Geerts *et al.* 2006, Pulvento *et al.* 2010; Jacobsen *et al.* 2009, 2012, Fuentes y Bhargava 2011; Razzaghi *et al.* (2012a, b). Por esta razón, está atrayendo la atención de investigadores

de todo el mundo como posible cultivo alternativo frente a la disminución de los recursos de agua dulce y el aumento de la salinización del suelo, y como especie modelo para desentrañar los mecanismos en la base de la tolerancia al estrés en las plantas. Hoy en día, la investigación sobre la quinua está avanzando más allá de la tolerancia a la sal y la sequía, e incluye estudios sobre los efectos de otros factores inductores de estrés abiótico (por ejemplo, metales pesados, altas y bajas temperaturas, radiaciones UV/FR) y biótico (patógenos).

### 2. Diferencias genotípicas.

El cultivo de la quinua es una herencia familiar y los agricultores andinos han demostrado ser un instrumento valioso en la preservación de la diversidad genética de la quinua en sus campos (Fuentes *et al.* 2012). Esta biodiversidad ha sido evaluado por métodos moleculares (Christensen *et al.* 2007; Fuentes *et al.* 2009), y las semillas de numerosas accesiones de la quinua están siendo conservadas en los bancos de genes de todo el mundo (véase el capítulo 1.5. “Estado de los recursos genéticos” en este libro).

La existencia de cinco categorías (ecotipos) de quinua, adaptadas a diferentes condiciones, sugiere que las especies deben exhibir una amplia variabilidad genética en la tolerancia a las condiciones climáticas adversas. Un enfoque hacia la evaluación y la comprensión de la tolerancia a la salinidad de la quinua ha sido, entonces, comparar los diferentes genotipos en cuanto a la germinación de semillas, crecimiento y rendimiento en condiciones salinas e investigar los mecanismos morfológicos y fisiológicos responsables de estas diferencias genotípicas.

Muchas de las casi 2,500 accesiones de quinua disponibles hasta la fecha han demostrado que difieren en su respuesta a la salinidad durante la germinación de semillas y más tarde, durante el ciclo de crecimiento. Jacobsen *et al.* (2003) observaron que las semillas de la variedad peruana Kancolla pudieron germinar en condiciones de salinidad cercanas a las del agua de mar (es decir, hasta 57 dS m<sup>-1</sup>). En una comparación entre los cultivares de Bolivia Robura y Sajama, se encontró que el primero era más sensible a la salinidad durante la germinación con un límite de tolerancia de NaCl 100 mM (Schabes y Sigstad 2005). De las 182

accesiones peruanas probadas por Gómez-Pando *et al.* (2010) sólo los 15 más tolerantes mostraron un alto porcentaje de germinación (60%) a un nivel de salinidad de 25 dS/m.

Ruiz-Carrasco *et al.* (2011) probaron la germinación *in vitro*, el crecimiento, y las respuestas fisiológicas a corto plazo a la sal de los cuatro genotipos costeros chilenos procedentes de un gradiente latitudinal que va desde el centro hasta el sur de Chile (PRJ, PRP, UdeC9, BO78). El objetivo fue vincular estas modificaciones a los niveles de expresión de dos genes transportadores de sodio clonados en la quinua, *Salt Overly Sensitive1 (Cq SOS1)* y *CqNHX* (véase el párrafo 3.3). Encontraron una reducción significativa en la tasa de germinación sólo en el nivel más alto de salinidad (300 mM NaCl) y en el genotipo del extremo sur (BO78), donde también se inhibió la longitud de la raíz. La relación de peso fresco de raíz/tallo fue afectada de manera diferenciada por la sal, con los valores más bajos en BO78. La prolina y las poliaminas, que se sabe están asociadas con la respuesta al estrés salino (véase el apartado 3.2.3), así como los niveles de transcripción de los dos genes también fueron modificados de manera genotipo-específica tras exposición a 300 mM NaCl. Los resultados globales indican que, de las cuatro accesiones evaluadas, BO78, procedente de un área con condiciones relativamente menos severas en términos de precipitaciones, era la menos tolerante a la sal, lo que sugiere una relación entre la tolerancia a la salinidad y la sequía.

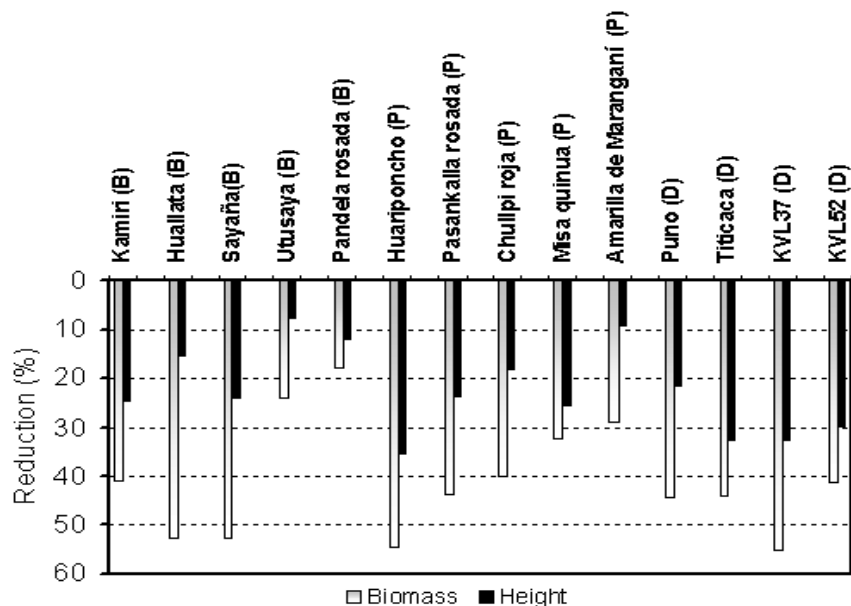
Delatorre-Herrera y Pinto (2009) probaron otros cuatro genotipos chilenos diferentes y encontraron que con 200 mM NaCl la selección más afectada fue Hueque (con una disminución del 50% en la capacidad de germinación), mientras que la disminución en el cv. Amarilla fue sólo del 6%. A 400 mM NaCl la tasa de germinación fue menor para todos los genotipos, en particular los de las zonas no salinas, que germinaron después de 22 h en comparación con 10 h para los que provienen de una zona salina, lo que sugiere que la salinidad no sólo reduce el porcentaje de germinación, sino que también retrasa el proceso. Por otra parte, la contribución relativa del efecto osmótico (es decir, la sequía generada por la alta salinidad del suelo) y de la toxicidad de iones (debido a la acumulación excesiva de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en los tejidos vegetales)

también fue analizada, y se indica que la salinidad tuvo un efecto diferente sobre la germinación en diferentes genotipos de quinua (Delatorre-Herrera y Pinto, 2009). Esto puede explicar por qué los datos con respecto a la contribución de estos efectos sobre la germinación de quinua son contradictorios. Al mismo tiempo, esta contribución diferencial genotipo-específica de los dos factores puede proporcionar una base para producir variedades mejoradas adaptadas a condiciones de campo particulares. Por lo tanto, la alta osmotolerancia durante la germinación puede ser una ventaja en suelos afectados por sequía y suelos ligeramente salinos, mientras que la tolerancia a la toxicidad de iones sería ventajosa en condiciones de alta salinidad.

Gómez-Pando *et al.* (2010) también estudiaron las 15 accesiones peruanas más tolerantes a la sal en la etapa de madurez y encontraron que algunos genotipos mostraron una reducción en altura en condiciones salinas, mientras que otros no lo hicieron o incluso mostraron un aumento. Lo mismo se observó para el peso seco de la hoja y raíz y el rendimiento. En particular, los resultados indicaron una gran influencia del genotipo de la quinua en masa seca de raíz por planta en condiciones salinas. Si bien en una accesión se observó una reducción del 80% en masa seca de la raíz respecto a los controles, lo que refleja su baja tolerancia a la sal, otra accesión superó el control en esta característica, lo que refleja alta tolerancia a la sal. En general, una baja altura de la planta, corta duración del ciclo de vida, y el máximo rendimiento de semilla e índice de cosecha se consideran rasgos agrícolas deseables.

En un experimento en macetas comparando 14 variedades de quinua con respecto a la producción de biomasa, Adolf *et al.* (2012) reportaron que dos variedades pertenecientes al tipo real (Pandela rosada y Utusaya), adaptados a las condiciones climáticas extremadamente duras del sur del altiplano boliviano y un cultivar de los Andes del sur de Perú (Amarilla de Maranganí) fueron las variedades menos afectadas con respecto a la producción de biomasa relativa y altura en la madurez en comparación con las otras variedades (Figura 1)





**Figura 1:** Nombre, origen (B = Bolivia, P = Perú, D = Dinamarca), y reducción en biomasa y altura de varios genotipos de quinua bajo condiciones salinas relativas a condiciones no salinas. Adaptado de Adolf *et al.* (2012).

En un estudio comparativo entre la quinua y la halófito “modelo” *Thellungiella halophila*, Morales *et al.* (2011) utilizaron dos genotipos del ecotipo de salar (Chipaya y Ollague) y dos genotipos del ecotipo de valle (CICA-17 de Perú y KU-2 de Chile). Los resultados indicaron una mayor reducción de peso fresco en condiciones salinas en *T. halophila* que en la quinua. De hecho, en 300 mM NaCl, *T. halophila* tuvo un promedio de disminución en peso fresco de 10 veces, pero Chipaya y Ollague de sólo 2 veces en comparación con sus respectivos controles. Bajo una fuerte salinidad (450 mM NaCl), los genotipos de quinua pertenecientes al ecotipo de salar mantuvieron una tasa de transpiración relativamente más alta que el ecotipo de valle, CICA-17 (ca. 50% y 40%, respectivamente, de los niveles de control). No se observaron diferencias notables entre los cultivares de quinua en términos de acumulación de iones y solutos compatibles, ni en los niveles de transcripción de varios genes en la hoja con un posible papel en la tolerancia a la sal, sin embargo, los perfiles de expresión génica en las raíces muestran algunas diferencias significativas entre los ecotipos de salar y de valle (ver sección 3.3).

Por lo tanto, se ha acumulado una cantidad considerable de pruebas que demuestran que hay una gran variabilidad genética en la tolerancia a la

salinidad de la quinua. Esto representa un recurso importante para la selección y mejoramiento para aún mayor tolerancia, y para cultivares adaptados a diferentes altitudes, latitudes, y una amplia gama de condiciones de suelo y clima (Christiansen *et al.* 2010; Bendevis *et al.* 2013).

### 3. Desentrañar los mecanismos básicos.

Se cree que las halófitas y glicófitas tienen una fisiología y anatomía similar, pero que las plantas adaptadas a la sal pueden hacer un uso más eficiente de los mismos mecanismos de tolerancia a la sal (Shabala y Mackay, 2011). Sin embargo, no se puede excluir la posibilidad de que las halófitas muestren mecanismos de tolerancia a la sal especiales que difieren de los de las glicófitas. Con respecto a las glicófitas e incluso a otras halófitas: ¿posee la quinua formas (hasta ahora desconocidas) únicas de adaptarse, y por lo tanto crecer y completar su ciclo de vida, en condiciones de alta salinidad? En términos de investigación básica, estas son las preguntas que los científicos plantean hoy y la razón por la cual, en la última década, el número de publicaciones científicas sobre este tema en relación con la quinua se han disparado, llegando a 14 en el periodo 2010-2012. El tema ha sido revisado recientemente por Adolf y sus colaboradores (Adolf *et al.* 2013).

### 3.1. Características morfológicas.

#### 3.1.1. Estructura de las Semillas.

Varios estudios han demostrado que incluso las halófitas pueden ser sensibles al estrés salino durante las etapas de germinación de la semilla y emergencia de las plántulas (Debez *et al.* 2004). Entender los mecanismos que son responsables de la tolerancia o sensibilidad relativa de la semilla, tales como si es que y dónde se acumula Na, y si afecta a la viabilidad de la semilla, son cuestiones importantes. Dado que la tolerancia a la salinidad depende en gran medida de la capacidad de la planta para preservar la homeostasis de los iones (Hasegawa *et al.* 2000), la concentración y la distribución de otros iones es también una característica importante tanto en las semillas como en tejidos adultos.

Koyro y Eisa (2008) reportaron que en el cv. peruano Hualhuas la distribución de los minerales en las semillas cosechadas de plantas cultivadas bajo diferentes tratamientos de sal, entre ellos uno muy alto (NaCl 500 mM) fue alterada, pero, a fin de cuentas, altamente regulada. Estos cambios no causaron daños evidentes a la semilla ni tampoco afectaron su viabilidad. Los autores plantearon la cuestión de si la estructura y compartimentación de la semilla podría tener una influencia en la viabilidad de las semillas en condiciones de alta salinidad, sobre todo porque las semillas de quinua son del tipo “*campylotropous*”, es decir, el embrión es periférico alrededor del perispermo (tejido de almacenamiento) y por lo tanto ocupa una posición más bien externa. Aunque si el peso de la semilla disminuyó en altas concentraciones de NaCl, la reducción de materia seca fue compensada por un aumento en contenido de cenizas. El aumento en contenido de cenizas inducido por sal fue debido al aumento de la concentración de Na, pero también por un aumento en las concentraciones de K, Mg y Ca. Si bien el incremento en Na fue muy alto, la relación K/Na nunca cayó por debajo de 1. Por lo tanto, hubo una acumulación estable de K y otros nutrientes esenciales (tales como P y S), incluso a alta salinidad. De hecho, la cubierta de la semilla limita el paso de Na y Cl posiblemente tóxicos al interior de la semilla (se encontró > 90% de Na y Cl en el pericarpio). Por lo tanto, el estudio demostró que en las semillas de plantas que crecieron en condiciones salinas un mecanismo de tolerancia importante estuvo basado en la integridad de la cubierta de la

semilla y perispermo como barreras protectoras que garantizan la exclusión de Na y Cl, y el mantenimiento de una alta relación K/Na en el interior de la semilla. Hariadi *et al.* (2011) sugirieron que la viabilidad de la semilla era dependiente de su capacidad de excluir Na + del embrión en desarrollo con el fin de evitar la toxicidad de iones.

#### 3.1.2. Vesículas de Sal (tricoma o pelo modificado que contiene sales en su interior)

Una característica típica de las halófitas es la presencia de tricomas especializados conocidos como glándulas de sal o vesículas de sal. El secuestro de sal absorbida en estas estructuras parece ser una estrategia eficaz que contribuye a la resistencia a la salinidad en algunas especies tolerantes a la sal y la sequía (Agarie *et al.* 2007; Ben Hassine *et al.* 2009). Es de suponer que están involucrados en compartimentar los iones potencialmente tóxicos, excluyéndolos de este modo de otros tejidos de la hoja, en particular del mesófilo subyacente fotosintéticamente activo. Las vesículas de sal también pueden ser útiles para reducir la pérdida de agua y el daño al aparato fotosintético inducido por UV. En las quenopodiáceas estas glándulas de sal se conocen como células de vesículas epidérmicas (EBC por sus siglas en inglés), y en la quinua están presentes en el tallo y en las superficies superior e inferior de la hoja (Figura 2). En un genotipo chileno (BO78) no se reportó diferencias significativas en las densidades de EBC en plantas no tratadas vs plantas tratadas con sal y la excreción de iones a través de las vesículas de sal fue relativamente modesta (Orsini *et al.* 2011) lo que sugiere que en este caso puede ser que las EBC no desempeñan un papel importante en la limitación de la acumulación de iones. En la halófito *Mesembryanthemum crystallinum* se mostró que las EBC acumulan agua y metabolitos, tales como cristales de betalaina, malato, flavonoides, cisteína, pinitol, inositol y oxalato de calcio (Agarie *et al.* 2007; Jou *et al.* 2007). Por lo tanto, el papel protector del EBC puede derivar de la acumulación de compuestos orgánicos con capacidad chaperona o de barrido (detoxificación) de los ROS (en inglés: Reactive Oxygen Species; Especies Reactivas de Oxígeno). Son necesarios más estudios para determinar la composición, la importancia y la función de la EBC en la quinua, también en relación con las variaciones genotipo-específicas en la tolerancia a la salinidad.



**Figura 2:** Glándulas de sal en la superficie de la hoja de quinua.

### 3.1.3. Los Estomas.

Las condiciones salinas por lo general disminuyen la tasa de transpiración, pero también la captación de  $\text{CO}_2$ , y por lo tanto la fotosíntesis (Iyengar y Reddy 1996), a través de la disminución de la conductancia estomática (véase el apartado 3.2.1). Se supone que la reducción observada en la conductancia de los estomas en las hojas de halófitas es importante para una mejor eficiencia en el uso del agua (EUA). Esto puede originarse en las respuestas fisiológicas de adaptación a la salinidad (por ejemplo, control de apertura de los estomas) y morfológicas (por ejemplo, la densidad y el tamaño de los estomas). En el primer caso, la regulación reversible y rápida de la apertura y cierre de los poros de los estomas se consigue a través de la entrada y salida de iones en las células de guarda, un proceso que está bajo el control de la hormona vegetal ácido abscísico (ABA). Un aumento temprano en ABA, y la disminución del potencial hídrico del suelo y la hoja, son indicativos de estrés osmótico causado por la salinidad.

Se ha demostrado que el intercambio de gases y la transpiración disminuyen en la quinua bajo condiciones de salinidad (Bosque Sánchez *et al.* 2003). Al ser expuesta a diferentes niveles de salinidad y al efecto combinado del estrés salino y sequía, la quinua tuvo un aumento en la concentración de ABA en el tallo y la raíz

de acuerdo con su rol como señal en el cierre estomático y regular la conductancia estomática (Razzaghi *et al.* (2011a).

Estudios recientes han puesto de manifiesto que un mecanismo morfológico de la quinua para controlar la transpiración y, por tanto, el uso eficiente del agua (WUE en inglés) en condiciones salinas es a través de una reducción en el tamaño o densidad de los estomas, o ambos (Orsini *et al.* 2011; Shabala *et al.* 2012, Adolf *et al.* 2013). En el genotipo chileno relativamente sensible a la sal BO78 se reportó una reducción de la densidad de hasta el 50% en condiciones altamente salinas, acompañado de una reducción de la longitud estomática (Orsini *et al.* 2011). En un estudio comparativo entre 14 variedades de quinua que difieren en la tolerancia a la salinidad, Shabala *et al.* (2013) y Adolf *et al.* (2012) demostraron que, mientras todos habían reducido la densidad de estomas en condiciones salinas, este parámetro morfológico fue diversamente afectado en los diferentes genotipos.

### 3.2. Parámetros fisiológicos y metabólicos.

#### 3.2.1. Intercambio de gases, conductancia estomática y tasa fotosintética.

Razzaghi *et al.* (2011a) encontraron que un aumento en la salinidad producía una reducción del potencial hídrico del suelo, y, por lo tanto,

el potencial hídrico foliar y la conductancia estomática en las plantas de quinua (cv. Titicaca) tanto en 100% de riego como en las sometidas a tratamientos de sequía progresiva. Del mismo modo, Orsini *et al.* (2011) reportaron una reducción del 50-60% en el intercambio de gases y de la conductancia en las hojas para la accesión chilena BO78 ya en niveles moderados de salinidad (150-300 mM NaCl). Una disminución de la conductancia estomática reduce la pérdida de agua (tasa de transpiración), pero también la entrada de  $\text{CO}_2$ . Se analizó la conductancia estomática y la asimilación fotosintética de  $\text{CO}_2$  en dos variedades contrastantes de quinua (Utusaya y Titicaca) bajo condiciones de salinidad. Utusaya, procedente de la región de los salares en Bolivia, se vio menos afectada, con una reducción de sólo el 25% de la asimilación neta de  $\text{CO}_2$  en comparación con una reducción del 67% en Titicaca (Adolf *et al.* 2013). Sin embargo, la conductancia estomática y, por lo tanto, la tasa de fotosíntesis fueron bajas en Utusaya incluso en condiciones no salinas, una compensación típica entre la tolerancia al estrés y la productividad, un aspecto que debe ser tenido en cuenta en la selección de variedades para el cultivo en diferentes condiciones y para el fitomejoramiento. Independientemente de los efectos de la alta salinidad en la entrada de  $\text{CO}_2$  a través de los estomas y por lo tanto su asimilación, varios informes han indicado que en las plantas de quinua cultivadas en condiciones de máxima salinidad, la eficiencia fotoquímica del fotosistema II (PSII) no se vio afectada, lo que sugiere que PSII no es muy afectado por el estrés por salinidad (Hariadi *et al.* 2011, Adolf *et al.* 2013a).

### 3.2.2. El ajuste osmótico, la retención de $\text{K}^+$ , y el metabolismo de hidratos de carbono.

La alta salinidad provoca un efecto osmótico (de sequía) y puede conducir a la toxicidad de iones debido a la sobre-acumulación de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  (Munns y Tester 2008). Para sobrevivir, las plantas deben activar los mecanismos adecuados para hacer frente a estos efectos. Las plantas se adaptan a altas concentraciones de sal externa mediante la acumulación de una variedad de moléculas orgánicas, los llamados osmolitos orgánicos, también conocidos como “solutos compatibles” (por ejemplo, prolina, glicina, betaína), o iones inorgánicos, o ambos (Flores 2004; Shabala &

Mackay 2011). Esta acumulación de osmolitos es necesaria para mantener la turgencia celular y permitir la expansión de células en condiciones de mayor osmolaridad externa. Mientras que algunas glicófitas tolerantes restringen el movimiento de iones a los brotes mediante la limitación de la entrada de iones dentro de la raíz, evitando así el riesgo de toxicidad de iones, las halófitas fácilmente absorben, translocan y acumulan los iones en las partes aéreas (Flores y Colmer 2008). Los iones acumulados (principalmente  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ) son supuestamente utilizados para el ajuste osmótico, facilitando así la absorción y el transporte de agua, y, presumiblemente, reduciendo el coste metabólico necesario para la producción de osmolitos orgánicos. Usando plantas del cv. Titicaca tratados con concentraciones de NaCl en el intervalo de 0-500 mM (ca. 0-50 dS  $\text{m}^{-1}$ ), Hariadi *et al.* (2011) demostraron que el 80-95% del ajuste osmótico en hojas se consigue por medio de la acumulación de iones inorgánicos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$ ). Una situación similar se registró para el genotipo Chileno BO78, donde también se observó un aumento de otros cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) (Orsini *et al.* 2011).

Wilson *et al.* (2002) investigaron la tolerancia salina y la acumulación de iones en *C. quinoa* cv. Híbrido Andino mediante el tratamiento de las plantas con una mezcla de sales ( $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , NaCl, y de  $\text{CaCl}_2$ ) similar a la que se produciría en un suelo típico del Valle de San Joaquín en California, donde se utilizan aguas de drenaje para el riego. No encontraron ninguna reducción significativa en la altura de la planta, área foliar, peso fresco o peso seco en respuesta al aumento de los niveles de salinidad. La respuesta de la quinua a la salinidad era característica de una halófito con un aumento del crecimiento (área foliar y peso seco), incluso a niveles de salinidad moderados. Tanto en los tallos como en las hojas, un aumento en la salinidad redujo la relación  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ . Una situación similar se observó en trigo (cv. Yecora Rojo) cultivado en las mismas condiciones, pero la disminución en esta relación era mucho más dramática con trigo que con quinua. En las plantas, la alta salinidad induce la salida de  $\text{K}^+$  o una alteración en la absorción de  $\text{K}^+$ , y la consiguiente reducción en niveles celulares de  $\text{K}^+$  pueden ser muy perjudiciales (Demidchik *et al.* 2010). Por lo tanto, la regulación de la



homeostasis de  $K^+$  es un aspecto importante de la tolerancia a la sal, y se cree que la capacidad de retener una óptima relación  $K^+/Na^+$  es fundamental para la tolerancia o adaptación al estrés salino (Munns y Tester 2008). Suhayda *et al.* (1992) encontraron una fuerte relación entre la relación  $K^+/Na^+$  de los tejidos y tolerancia a la sal en la cebada, y sugirieron que este rasgo podría ser utilizado como un criterio de selección en el proceso de obtención de variedades tolerantes a la sal. Por otra parte, un aumento en el contenido de  $Na^+$  vacuolar debe ir acompañado de un aumento simultáneo de la osmolaridad citosólica. Esto se consigue no sólo mediante la acumulación de osmolitos orgánicos en el citosol, sino también mediante el aumento de  $K^+$ . En la quinua (BO78) tratada con sal, las plantas expuestas a altos niveles de salinidad reportaron una concentración de  $K^+$  tres veces más alta que en los controles o que las plantas expuestas a concentraciones de NaCl más bajas, mientras que las concentraciones de prolina no se vieron afectadas significativamente, lo que sugiere que el ion inorgánico jugó un papel más importante en el ajuste osmótico que como osmolito orgánico (Orsini *et al.* 2011).

Sin embargo, se han reportado aumentos en osmolitos orgánicos (azúcares solubles, prolina, glicilbetaína) en la quinua (Jacobsen *et al.* 2007; Ruffino *et al.* 2010). Morales *et al.* (2011) reportaron grandes cantidades de betaína, trehalosa, y especialmente trigonelina en el cv. Chipaya y cv. Ollague, y cantidades insignificantes de sorbitol, pinitol y prolina. En respuesta al estrés salino, la trigonelina se acumulaba en concentraciones muy altas tanto en hojas como en raíces (800-7000  $\mu\text{mol g}^{-1}$  DW dependiendo del tejido y régimen de tratamiento). Esta concentración es muy superior a la de otras especies de cultivos (soja, maíz, tomate).

El ajuste osmótico es particularmente importante durante la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas, porque si estas fallan, ¡no habrá planta! La respuesta de las plántulas a la salinidad en términos del metabolismo de carbohidratos (aumento de la producción de azúcares solubles) parece ser un aspecto importante que permite que la quinua se ajuste osmóticamente a un ambiente salino en sus primeras etapas de desarrollo, un

importante factor de la tolerancia a la salinidad de las plantas. Prado *et al.* (2000) observaron cambios en el contenido de glucosa, fructuosa y sacarosa entre plántulas tratadas con sal y las no tratadas con sal. Rosa *et al.* (2009) analizaron la compartimentación de sacarosa-almidón y las enzimas relacionadas en plántulas estresadas con NaCl y plántulas aclimatadas a la sal a bajas temperaturas. Reportaron mayor actividad de la sacarosa-fosfato sintasa y la invertasa ácida soluble en las plantas estresadas con NaCl, y un incremento en los azúcares solubles y prolina, los cuales son esenciales para el mantenimiento del equilibrio osmótico en condiciones salinas.

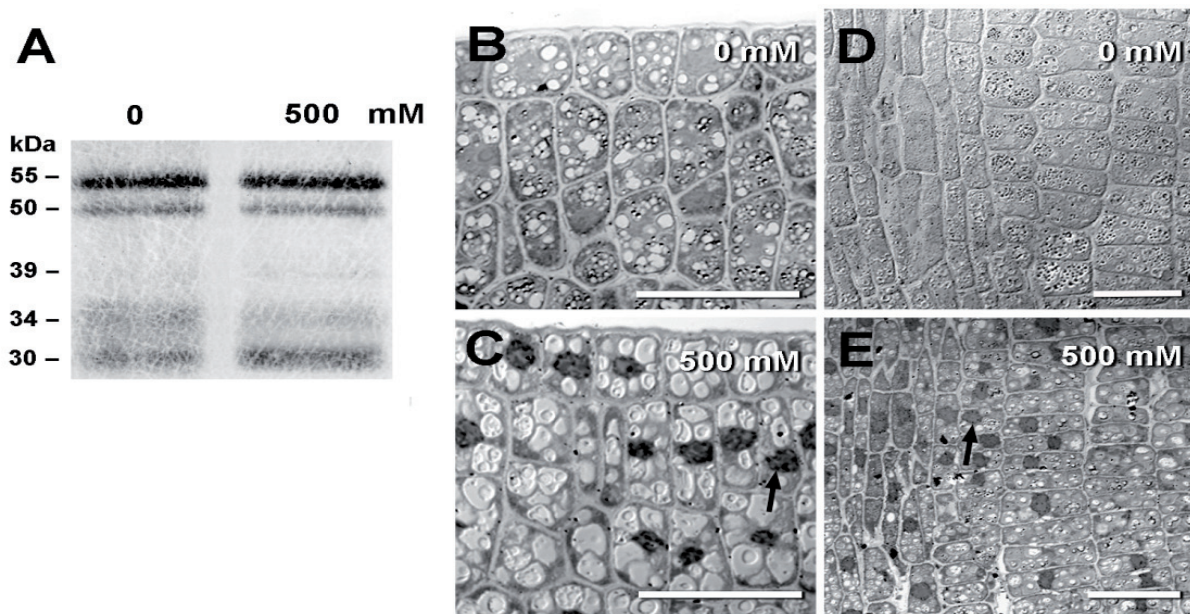
Una reducción en el potencial mátrico en el interior de la semilla también puede contrarrestar la pérdida de agua bajo condiciones de alta osmolaridad externa. Koyro y Eisa (2008) sugirieron que el aumento de los niveles de proteína en las semillas cosechadas de plantas de quinua tratadas con sal tratada puede haber contribuido a la reducción de este potencial. También argumentaron que la aceleración de la germinación de estas semillas podría ser el resultado de una mayor absorción de agua a través de la acumulación de  $Na^+$  y  $Cl^-$  en el pericarpio de semillas y de solutos orgánicos en el interior de la semilla.

### 3.2.3. Moléculas osmoprotectivas y otras moléculas protectoras.

La acumulación de dehidrinas fue reportada por primera vez en las semillas de algodón durante las últimas etapas de desarrollo del embrión (Rorat 2006). Además, se han encontrado dehidrinas en casi todos los tejidos vegetativos bajo condiciones de estrés, como la sequía, el frío y la alta salinidad (Battaglia *et al.* 2008; Rorat 2006). Se ha demostrado que la expresión ectópica de una dehidrina de trigo mejora la tolerancia a la alta salinidad y la deshidratación en la planta modelo *Arabidopsis thaliana*, y la mutación de un gen de dehidrina en el musgo *Physcomitrella patens* causa un grave deterioro en la capacidad de la planta para reanudar el crecimiento después del estrés salino y el estrés osmótico, proporcionando apoyo para el rol de las dehidrinas en los mecanismos de tolerancia al estrés. Se detectaron varias bandas de dehidrina en embriones maduros de dos cultivares de quinua adaptadas a dos ambientes contrastantes (altitud elevada vs el nivel del mar),

con algunas de las bandas mostrando diferencias cuantitativas en los dos cultivares (Carjuzáa *et al.* (2008). Más recientemente, Burrieza *et al.* (2012) estudiaron el efecto de la sal en la composición de dehídrinas de embriones maduros de cv. Hualhuas, que está adaptada a las condiciones áridas y saladas típicas del altiplano. Un análisis

*Western Blot* detectó al menos cuatro dehídrinas en semillas cosechadas de plantas de control y de plantas estresadas con NaCl; no se detectaron bandas adicionales en condiciones de salinidad, y sólo una banda (dehídrina 30-kDa) aumentó con el tratamiento de NaCl (Figura 3).



**Figura 3:** A. Western blot de dehídrinas en embriones maduros de quinua. Las semillas se obtuvieron a partir de plantas cultivadas en 0 y 500 mM NaCl. B-E. Inmunolocalización *in situ* de dehídrina en los cotiledones (B, C) y eje embrionario (D, E) observada con microscopía diferencial de contraste de interferencia (DIC). La marca (flechas) se observó principalmente en los núcleos, específicamente en la cromatina. B, D: plantas de control, C, E: plantas estresadas con sal. Barra = 20 µm. En Burrieza *et al.*, 2012. © Springer

Como se dijo anteriormente, el estrés por salinidad provoca una reducción en la disponibilidad de agua (es decir, la sequía y estrés osmótico) que conduce al cierre de los estomas y reducción en la densidad de los estomas, y la acumulación de iones tóxicos de Na<sup>+</sup>. Tanto el cierre de estomas y la acumulación de Na<sup>+</sup> afectan la actividad fotosintética, que puede resultar en la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés). Las ROS son potencialmente capaces de causar la peroxidación de los lípidos en las membranas celulares, daño al ADN, la desnaturalización de las proteínas, la oxidación de carbohidratos, la descomposición de pigmentos y un deterioro de la actividad enzimática (Noctor y Foyer 1998). Por lo tanto, el estrés oxidativo es un tercer componente de estrés salino, y la tolerancia está fuertemente ligada a la capacidad de la planta para controlar la

acumulación de ROS bajo condiciones de estrés. Aunque se considera que la acumulación de osmolitos orgánicos contribuye al ajuste osmótico de la planta en un ambiente salino, ahora se sabe que tales compuestos también juegan un papel importante en la tolerancia al estrés oxidativo. Se conocen cuatro clases principales de osmolitos orgánicos (aminoácidos, azúcares, polioles y aminos cuaternarias); algunos de ellos pueden actuar como chaperones moleculares protegiendo al PSII contra el estrés oxidativo, mientras que otros directamente limpian ROS (Shabala *et al.* 2012). Todas estas clases de osmolitos parecen estar presentes en los tejidos de quinua (Aguilar *et al.* 2003, Ruffino *et al.* 2010, Orsini *et al.* 2011, Ruiz Carrasco *et al.* 2011). En apoyo de esta hipótesis, se ha mostrado que la aplicación exógena de glicilbetaína mitiga sustancialmente los efectos perjudiciales del estrés oxidativo inducido

por UV en la eficiencia fotosintética (Shabala *et al.* 2012).

La acumulación de prolina durante el estrés por salinidad se ha investigado a fondo, y se ha establecido el papel de este aminoácido como osmoprotector en la protección de estructuras subcelulares y macromoléculas y como molécula de señal (Szabados y Saviouré 2010). En la accesión BO78 Orsini *et al.* (2011) informaron que las concentraciones de prolina en las hojas y tallo aumentaron significativamente bajo condiciones de salinidad; en las más altas concentraciones de NaCl (600 y 750 mM), el aumento fue *ca.* diez veces relativa a 0 mM de NaCl. En otro estudio, la salinidad moderada (300 mM NaCl) indujo una acumulación de prolina en plántulas de 15 días de edad de cuatro accesiones chilenas (BO78 y otros); estas se pueden distinguir entre las que exhibieron un aumento moderado, y las que acumularon 3 a 5 veces más prolina que los niveles de control (Ruiz-Carrasco *et al.* 2011). En el mismo estudio, estos autores analizaron los cambios en los niveles de poliaminas (PA) en los diferentes genotipos tratados con sal. Las PAs, de las cuales la putrescina (Put), espermidina (Spd) y espermina (Spm) son las más comunes en las plantas superiores, son policationes alifáticas considerados como reguladores del crecimiento vegetal, también involucrados en las respuestas al estrés (Alcazar *et al.* 2010). Hay evidencia que apoya la idea de que las PAs ejercen una función protectora durante el estrés (eliminación de ROS, estabilización de la membrana, endurecimiento de la pared celular), y también parecen tener una función como reguladores de los canales iónicos (Kusano *et al.* 2008). Una relación inversa entre los niveles de Put y  $\text{Na}^+$  o  $\text{K}^+$  en tejidos de plantas están de acuerdo con la supuesta función de esta PA (Put) en el mantenimiento del balance de aniones y cationes, mientras que algunos informes apuntan a la función protectora de Spd y Spm en conferir tolerancia a la sal. Los resultados mostraron que la relación  $(\text{Spd} + \text{Spm})/\text{Put}$  fue significativamente menor en BO78 que en los otros genotipos analizados, confirmando la mayor sensibilidad de este genotipo del sur de acuerdo con otros parámetros y con su procedencia desde un ambiente menos propenso al estrés. Así, mientras que la acumulación más alta de prolina distingue la accesión más tolerante, la respuesta de menor acumulación de PA distingue a

la más sensible (Ruiz-Carrasco *et al.* 2011).

#### 3.2.4. Carga y translocación de sodio.

En su experimento con una solución de mezcla de varias sales, Wilson *et al.* (2002) demostraron que en la quinua los niveles de  $\text{Na}^+$  aumentaron sólo 3 a 4 veces en tejidos aéreos mientras que en una variedad de trigo moderadamente tolerante el aumento fue de más de 6 veces. Recientemente Shabala *et al.* (2013) reportaron que las diferencias genotípicas en la tolerancia a la salinidad se asociaron a diferencias en absorción de  $\text{Na}^+$ , con los cultivares más tolerantes mostrando menor contenido de  $\text{Na}^+$  en el xilema. Los 14 genotipos ensayados podrían ser separados en dos grupos, incluidores de  $\text{Na}^+$  y excluidores de  $\text{Na}^+$ , con las variedades más tolerantes perteneciendo al último grupo. Parece, entonces, que también en la quinua, a pesar de que se requiere una rápida absorción y acumulación de  $\text{Na}^+$  en las hojas para el ajuste osmótico, se evita la toxicidad de iones en los genotipos más tolerantes al limitar en cierta medida la carga de  $\text{Na}^+$  en la savia del xilema (mecanismo de exclusión). De hecho, la exclusión de  $\text{Na}^+$  se ha considerado siempre como un rasgo beneficioso en glicófitas (Munns y Tester 2008). En *Arabidopsis*, esta exclusión está mediada por un intercambiador de  $\text{Na}^+ / \text{H}^+$  situado en la membrana plasmática de las células epidérmicas de la raíz (Blumwald *et al.* 2000) codificada por el Gen *Salt Overly Sensitive1* (*SOS1*) (Qiu *et al.* 2002). La expresión del gen *SOS1* en la quinua en condiciones de salinidad ha sido investigado por varios grupos (Maughan *et al.* 2009; Morales *et al.* 2011, Ruiz-Carrasco *et al.* 2011, véase más adelante).

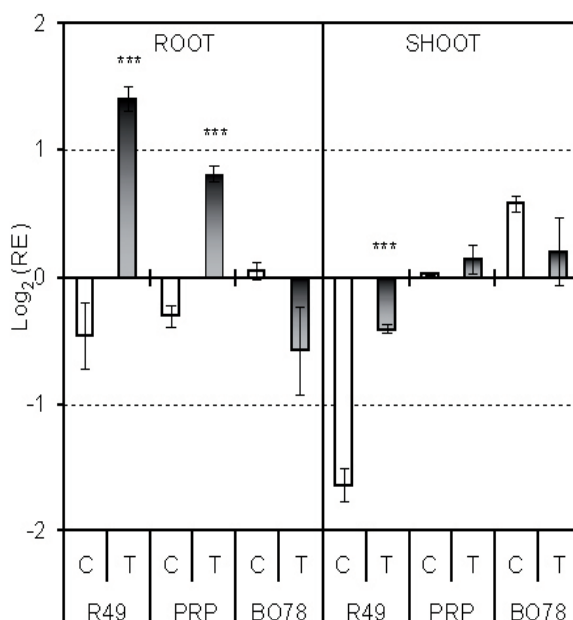
#### 3.3. Estudios de expresión génica.

Tal como se describe en los párrafos anteriores, la capacidad de absorción y translocación de iones de la quinua en condiciones salinas ha sido investigada por la medición de Na, K, y otros iones en la savia de la hoja. El tema también ha sido estudiado mediante técnicas de biología molecular, basadas en el hecho de que los genes centrales relacionados con el transporte de  $\text{Na}^+$  han sido clonados en varias especies, y sus roles en la tolerancia a la salinidad han sido evaluados (Shi *et al.* 2012). En *Arabidopsis thaliana*, *NHX1*, el gen que codifica un antiportador de  $\text{Na}^+ / \text{H}^+$  vacuolar localizado en el tonoplasto es considerado como



responsable de la compartimentación de  $\text{Na}^+$  (y posiblemente la homeostasis de  $\text{K}^+$ ) en la vacuola. La compartimentación de  $\text{Na}^+$  en vacuolas es un mecanismo fundamental para evitar los efectos tóxicos de este ion en el citosol mientras que proporciona una presión osmótica adicional para la absorción de agua y el mantenimiento de la turgencia. El gen *SOS1* de la membrana plasmática también controla la homeostasis de iones en el citoplasma bajo condiciones de estrés salino. Debido a la extraordinaria tolerancia de la quinua a la sal, la pregunta de cómo están regulados los genes asociados con antiportadores de  $\text{Na}^+$  es una cuestión interesante de estudiar en esta especie, como se ha hecho en otra especie resistente a la sal la hierba perenne *Lagopoides aeluropus* (Ahmed *et al.* 2013). Maughan *et al.* (2009) clonaron y caracterizaron dos genes homólogos a *SOS1* en la quinua y encontraron un alto nivel de similitud entre estas secuencias de genes y homólogos de *SOS1* en otras especies. Un análisis de expresión génica de *CqSOS1A* y *CqSOS1B* en un cultivar procedente de los salares del altiplano boliviano mostró una expresión más fuerte en las raíces en comparación con las hojas en ausencia de salinidad; sin embargo, el tratamiento salino provocó una regulación de ambos genes en las hojas pero no en las raíces, una observación que sugiere que la exclusión de  $\text{Na}^+$  al nivel de la raíz no fue inducida por este tratamiento (Maughan *et al.* 2009). Un análisis de la expresión génica de *CqSOS1* y *CqNHX1* en cuatro genotipos chilenos que difieren en tolerancia a la salinidad confirmó que el nivel de expresión de estos genes antiportadores de sodio fue diferente en brotes y raíces, y que estos genes son regulados diferencialmente en diferentes genotipos (Ruiz-Carrasco *et al.* 2011, Figura 4). También se midieron cambios transcripcionales en *CqSOS1* y *CqNHX1* en condiciones de salinidad (450 mM NaCl) y durante la recuperación del tratamiento con sal en dos genotipos del ecotipo *salar* y dos del ecotipo valle (CICA-17 de Perú y KU-2 de Chile) por Morales *et al.* (2008). Se reportaron diferencias en los niveles de expresión génica entre las accesiones en las raíces, pero no se observaron en las hojas. La expresión de *SOS1* aumentó más fuertemente en las raíces estresadas con NaCl de los ecotipos *salar*, lo que sugiere que el  $\text{Na}^+$  citoplasmático estaba saliendo de las raíces. Se observó un aumento en la expresión del gen que codifica una enzima implicada en la

biosíntesis del soluto compatible glicilbetaína, es decir, betaína aldehído deshidrogenasa (*BADH*), en las raíces de ambos cultivares del ecotipo *salar* (Chipaya y Ollague) y del ecotipo valle (CICA-17), sin diferencias notables entre los genotipos.



**Figura. 4.** Expresión de *CqNHX1* en las raíces (izquierda) y brotes (derecha) de plantas control (C) y plantas tratadas con 300 mM NaCl (T) de quinua del norte (R49), centro (PRP) y sur (BO78) de Chile. El tratamiento de sal se aplicó 60 días después de la germinación en macetas, y se tomaron muestras de las hojas 24 horas después del tratamiento con sal. Los resultados indican un aumento diferencial en la expresión de *CqNHX1* en una manera órgano-y genotipo-dependiente. Bajo estrés salino, los genotipos del norte y centro (R49 y PRP, respectivamente) acumulan transcritos de *CqNHX1* en las raíces, mientras que BO78 acumula más transcritos en los brotes (K. Ruiz Carrasco, datos no publicados).

### 3.4. Interacción de la salinidad con otros factores ambientales (temperatura, sequía).

Las plantas son capaces de mostrar lo que se conoce como “tolerancia cruzada”, lo que significa que si una planta es tolerante a un tipo de estrés también puede tolerar otros (Hamed *et al.* 2013). Este es un aspecto importante a considerar cuando se selecciona para una nueva variedad, ya que,



en muchas regiones del mundo, particularmente las zonas áridas y semiáridas, el calor, la sequía y la salinidad ocurren simultáneamente.

González y Prado (1992) mostraron que a temperaturas más altas el efecto perjudicial de la salinidad en la quinua fue generalmente menos grave, y que la capacidad de recuperación de las semillas tratadas con sal después de ser transferidas a condiciones no salinas era también dependiente de la temperatura. Esto fue confirmado por Chilo *et al.* (2009), quienes informaron que la disminución de la temperatura y el aumento de salinidad retrasa y reduce la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas. Rosa *et al.* (2009) también demostraron que el crecimiento de las plántulas de quinua se vió negativamente afectado por las bajas temperaturas (5 °C), y que las plántulas tratadas con sal y plántulas cultivadas a baja temperatura sin sal añadida mostraron la misma inhibición del crecimiento en relación con los controles no estresados. También mostraron que las bajas temperaturas inducen efectos diferentes en la compartimentación de sacarosa-almidón en los cotiledones de plántulas estresadas con sal. Estos resultados preliminares indican que se necesitan más investigaciones para evaluar el efecto combinado de la temperatura y la salinidad tanto en las etapas iniciales (germinación, establecimiento de plántulas) como en las etapas posteriores del crecimiento de la quinua. Adolf *et al.* (2014) demostraron en el cultivar boliviano Achachino que temperaturas cálidas prolongaron el periodo de floración, pero acortaron el tiempo de llenado de semilla en comparación con plantas cultivadas en condiciones más frescas. El resultado fue más semillas de menor tamaño y peso en el clima cálido. El rendimiento de semillas no fue diferente entre las plantas tratadas con sal cultivadas bajo los dos regímenes de temperatura (caliente y frío).

Pocos estudios han sido realizados con respecto a los efectos combinados de la sequía y el estrés salino sobre la quinua en condiciones de campo controladas. Razzaghi *et al.* (2011b) realizaron un experimento de este tipo, y se evaluó el efecto de la salinidad y el secado del suelo en

la eficiencia en el uso de la radiación (RUE<sup>1</sup>), el rendimiento y la productividad en cv. Titicaca. Las plantas fueron expuestas a cinco niveles de salinidad (rango 0 a 40 dS/m) desde la iniciación floral en adelante, durante la fase de llenado de la semilla. Los tratamientos de salinidad fueron divididos en dos niveles de riego, riego completo (95% de capacidad de campo) y sin riego de sequía progresiva. Los resultados mostraron que no hubo interacción significativa entre la sequía y la salinidad sobre RUE, rendimiento de semillas, índice de cosecha y la productividad del agua (es decir, la semilla o materia seca total por unidad de agua utilizada). Otra prueba de campo se llevó a cabo en el sur de Italia con el mismo cultivar de quinua (Cocozza *et al.* 2012). Los resultados mostraron que, dado que el rendimiento de la semilla no fue comprometido, el cultivar Titicaca puede ser cultivado en condiciones de estrés salino y de sequía propias de los agroecosistemas de tipo mediterráneo (para más detalles véase el capítulo 5.15 de este libro).

#### 4. ¿La alta salinidad afecta las propiedades nutricionales de la quinua?

Hay poca información sobre el rendimiento y calidad, y en particular, las propiedades nutricionales de semillas de quinua cultivadas en condiciones de alta salinidad. El cultivar peruano Hualhuas (Koyro y Eisa 2008) y el cultivar, obtenido en Dinamarca, Titicaca (Hariadi *et al.* 2011; Jacobsen *et al.* 2010) han podido completar su ciclo de vida y producir semillas, incluso a 500 mM NaCl (~50 dS/m). Sin embargo, el rendimiento, número y tamaño de las semillas, y la relación C/N fueron más bajos a altos niveles de salinidad (> 300 mM) que en condiciones de control. La baja relación C/N era principalmente el resultado de un aumento en el contenido de proteína acompañado por una disminución en hidratos de carbono totales. En un ensayo de campo llevado a cabo en el sur de Italia (véase el capítulo 6.13) la calidad de la semilla (proteínas, lípidos, hidratos de carbono) no fue significativamente alterada por el riego con agua salina, pero el contenido de fibra fue mayor en condiciones salinas, probablemente debido a una

<sup>1</sup> Se calculó la RUE (g MS MJ) para diferentes fracciones de rendimiento obtenidas en la cosecha final, tales como semilla (RUEsemilla), paja (RUEpaja) y materia seca total (RUEMS) como RUE = Rendimiento/IPAR.

cantidad relativa diferente de cáscara vs el resto de la semilla (Pulvento *et al.* 2012). Las semillas de diez cultivares de quinua, nueve del altiplano andino (Patacamaya sitio en Bolivia/Argentina, 3960 m snm) y uno del noroeste argentino (Encalilla sitio, 2780 m snm) fueron analizados en el rendimiento de semillas, contenido de proteína y la composición de aminoácidos cuando se cultivan bajo condiciones de sequía en dos sitios agroecológicas diferentes que tienen diferentes características del suelo, en particular, una CE de 2 dS m<sup>-1</sup> en Encalilla y de 7 dS m<sup>-1</sup> en Patacamaya. Los resultados revelaron que la composición de proteínas de las semillas dependía principalmente del genotipo, pero también depende de factores ambientales y sus interacciones, y que el perfil de aminoácidos esenciales fue más afectado que el rendimiento del grano y el contenido de proteína total (González *et al.* 2011). La composición mineral y contenido de proteína de las semillas cosechadas de plantas cultivadas bajo condiciones de suelo neutras (L1) y salinosódicos (L2) en el centro de Grecia fue evaluado en ocho variedades de quinua provenientes de bancos de semillas de Dinamarca, Chile, Brasil, Inglaterra y Holanda por Karyotis *et al.* (2008). La concentración de proteína fue significativamente diferente entre las variedades en L1 pero no en L2, y fue en promedio 20% más alto en L2 que en L1, lo que indica una correlación negativa entre la proteína del grano y el rendimiento del grano. El contenido de fósforo y hierro de las semillas en L2 no fue significativamente diferente de lo observado en L1, mientras que el contenido de la mayor parte de los otros minerales analizados (Ca, K, Mg, Zn y Mn) fue, en promedio, significativamente mayor en L1, lo que indica que las propiedades de los suelos marginales de L2 limitan la acumulación de estos elementos. Las variedades de América del Sur (Chile y Brasil) se adaptaron bien a las condiciones del suelo de ambas localidades y fueron superiores en la acumulación de elementos minerales en las semillas.

Las vitaminas y otras moléculas que ejercen propiedades antioxidantes, tales como compuestos fenólicos, que pueden eliminar radicales dañinos y reducir la peroxidación de lípidos de membrana, contribuyen a la calidad

nutricional y nutracéutica de la quinua. Gómez-Caravaca *et al.* 2012 examinaron el efecto del régimen de riego y la salinidad sobre el contenido de compuestos fenólicos de las semillas de un cultivar de Dinamarca. Encontraron sólo cambios limitados en estos compuestos en condiciones de riego reducido con o sin salinidad, lo que sugiere que las condiciones desfavorables del suelo no parecen afectar el contenido de estos compuestos bioactivos importantes de la semilla. Con respecto a otra categoría importante de moléculas antioxidantes, los resultados preliminares han mostrado que el perfil de tocoferol (vitamina E) de las semillas y las hojas de cuatro genotipos chilenos cultivados en condiciones salinas (300 mM NaCl) fueron alterados, y en algunos casos mejorado, en comparación con los controles cultivados sin NaCl, y que la respuesta fue genotipo-dependiente (Antognoni y Biondi, datos no publicados).

Las saponinas tienen una amplia gama de actividades biológicas (antimicrobiana, insecticida, antifúngica, coadyuvante de vacunas entre otras) y se pueden utilizar en la industria como detergentes y agentes surfactantes. Aunque su sabor amargo representa un aspecto negativo en términos de consumo humano, la alta producción de saponina puede ser un beneficio más de la quinua como fuente alternativa y renovable de saponinas (Woldemichael y Wink 2001; Carlson *et al.* 2012). Bajo óptimo riego el contenido de saponina fue 30% más alto en condiciones de salinidad que en ausencia de salinidad (Gómez-Caravaca *et al.* 2012). En un ensayo de campo de dos años con el cv. Titicaca, Pulvento *et al.* (2012) reportaron un aumento dosis-dependiente en la concentración de saponina de la semilla con el aumento de la salinidad. A pesar de que podría ser interpretado como una respuesta al estrés, se necesitan más estudios para determinar el mecanismo que conecta la salinidad con la producción de saponina.

Aunque en la actualidad la información sobre las diferencias genotípicas y la salinidad en las propiedades nutricionales y nutracéuticas de la quinua son insuficientes para permitirnos sacar conclusiones, parece que estas propiedades, en general, no se ven afectadas negativamente, o

incluso son mejoradas (por ejemplo, contenido de proteína y fibra) bajo condiciones de estrés.

## 5. Conclusiones.

Dada su naturaleza halófila, evaluada y confirmada por una amplia gama de experimentos realizados en condiciones de salinidad moderada a alta, la quinua es sin duda el cultivo ideal para los suelos agrícolas cada vez más salinizadas en todo el mundo. La información acumulada en los últimos años, aquí resumida, indica que la amplia diversidad genética de la quinua se asocia con un amplio rango de tolerancia a la alta salinidad bajo múltiples condiciones agroecológicas (sequía, frío, etc). Por lo tanto, mientras que todos los genotipos de quinua poseen un alto nivel de tolerancia a la sal en comparación con todas las otras especies de cultivos, algunos genotipos son más tolerantes que otros. Esta variación representa un recurso precioso, que puede ser útilmente explotado para la selección y la obtención de cultivares adaptados a los suelos y condiciones climáticas más diversos. La quinua también representa una buena planta modelo en la que se pueden revelar los mecanismos de la base de la tolerancia a la sal, en primer lugar porque es el único cultivo halófilo que produce semillas para la alimentación humana, y segundo, porque sus mecanismos de tolerancia pueden ser diferentes de las de otras especies de este pequeño grupo de plantas adaptadas al sal. Parte de la información (morfológica, fisiológica y molecular) disponible a la fecha ya puede ayudar a los fitomejoradores en la selección de características útiles. Por último, pero no menos importante, hay una buena cantidad de evidencia que indica que las propiedades nutricionales de la quinua no se ven gravemente afectadas en condiciones de alta salinidad y que, en algunos casos, incluso se mejoran. Este aspecto corrobora la idea de que la quinua es un cultivo que puede ofrecer a las comunidades que viven en entornos difíciles opciones para mejorar sus medios de vida, generar ingresos, lograr la seguridad alimentaria, y disfrutar de una mejor nutrición y la salud.

## Agradecimientos

Se agradece las contribuciones financieras del programa de intercambio de TWAS-ICGEB ("Tolerance strategies of quinoa plants under salt stress" CRP.PB/CHI06-01), el programa de la EU-IRSES (PIRSES-GA-2008- 230.862), el proyecto SWUP-MED del EU-FP7 ("Sustainable water use securing food production in dry areas of the Mediterranean region") y el proyecto Fondecyt (Ministerio de Educación, Chile), proyecto N ° 3130624 (a Ruiz KB).

## Referencias

- Adolf VI, JW Gößling E. Rosenqvist, F Liu, MN Andersen, S-E Jacobsen (2014). Combined effects of salinity and temperature on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under simulated climates of Bolivia and Morocco. I. Development, yield and seed quality. *Functional Plant Biology* (presentado).
- Adolf VI, S-E Jacobsen y S Shabala (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany* 92: 43-54.
- Adolf VI, S Shabala, MN Andersen, F Razzaghi y S-E Jacobsen (2012). Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Plant and Soil* 357: 117-129.
- Agarie S, T Shimoda, Shimizu, K Baumann, H Sunagawa, A Kondo, O Ueno, T Nakahara, A Nose y JC Cushman (2007). Salt tolerance, salt accumulation, and ionic homeostasis in an epidermal bladder-cell-less mutant of the common ice plant *Mesembryanthemum crystallinum*. *Journal of Experimental Botany* 58: 1957-1967.
- Aguilar PC, Z Cutipa, E Machaca, M Lopez y S-E Jacobsen (2003). Variation of proline content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in high beds (waru waru). *Food Reviews International* 19: 121-127.
- Ahmed MZ, T Shimazaki, S Gulzar, A Kikuchi, B Gul, MA Khan, H-W Koyro, B Huchzermeyer y KN Watanabe (2013). The influence of genes regulating transmembrane transport of Na<sup>+</sup> on the salt resistance of *Aeluropus lagopoides*. *Functional Plant Biology* 40: 860-871.

- Alcázar R, T Altabella, F Marco, C Bortolotti, M Reymond, C Koncz, P Carrasco y Tiburcio AF (2010). Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta* 231: 1237–1249.
- Battaglia M, Y Olvera-Carrillo, A Garciarrubio, F Campos y Covarrubias AA (2008). The enigmatic LEA proteins and other hydrophyllins. *Plant Physiology* 148: 6–24.
- Ben Hassine A, ME Ghanem, S Bouzid y S Lutts (2009). Absciscic acid has contrasting effects on salt excretion and polyamine concentrations of an inland and a coastal population of the Mediterranean xero-halophyte species *Atriplex halimus*. *Annals of Botany* 104: 925–936.
- Bendavis M.A, Y Sun, S Shabala, E Rosenqvist, F Liu y S-E Jacobsen (2013). Photoperiod dependent ABA and soluble sugar responses of quinoa. *Journal of Plant Growth Regulation* (presentado).
- Blumwald E, GS Aharon y MP Apse (2000). Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta-Biomembranes* 1465: 140–151.
- Bosque-Sanchez H, R Lemeur, P Van Damme y S-E Jacobsen (2003). Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa. *Food Reviews International* 19: 111–119.
- Burrieza HP, H-W Koyro, L Martínez Tosar, K Kobayashi y Maldonado S (2012). High salinity induces dehydrin accumulation in *Chenopodium quinoa* Willd. embryos. *Plant and Soil* 354: 69–79.
- Carjuzaa P, M Castellión, A J Distéfano, M del Vas y S Maldonado (2008). Detection and subcellular localization of dehydrin-like proteins in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) embryos. *Protoplasma* 233: 149–156.
- Carlson D, J A Fernandez, H D Poulsen, B Nielsen y S-E Jacobsen (2012). Effects of quinoa hull meal on piglet performance and intestinal epithelial physiology. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 96: 198–205.
- Chilo G, Molina MV, Carabajal R y M Ochoa (2009). Temperature and salinity effects on germination and seedling growth on two varieties of *Chenopodium quinoa*. *AgriScientia* 26: 15–22.
- Christensen SA, DB Pratt, C Pratt, MR Stevens, EN Jellen, CE Coleman, DJ Fairbanks, A Bonifacio y PJ Maughan (2007). Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers. *Plant Genetic Resources* 5: 82–95.
- Christiansen JL, S-E Jacobsen & ST Jørgensen (2010). Photoperiodic effect on flowering and seed development in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Sección B: Plant Soil Science* 60 : 539–544.
- Cocoza C, C Pulvento, A Lavini, M Riccardi, R d'Andria y R Tognetti (2012). Effects of increasing salinity stress and decreasing water availability on ecophysiological traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Agronomy and Crop Science* doi:10.1111/jac.12012.
- Debez A, K Ben Hamed, C Grignon y C Abdelly (2004). Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cacile maritima*. *Plant Soil* 262:179–189.
- Delatorre-Herrera J y M Pinto (2009). Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) selections. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69: 477–485.
- Demidchik V, TA Cuin, D Svistunenko, Smith SJ, Miller AJ, Shabala S, Sokolik A & Yurin V (2010). Arabidopsis root K<sup>+</sup>-efflux conductance activated by hydroxyl radicals: single-channel properties, genetic basis and involvement in stress-induced cell death. *Journal of Cell Science* 123: 1468–1479.
- Flowers TJ (2004). Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany* 55: 307–319.
- Flowers TJ y TD Colmer (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist* 179: 945–963.
- Fuentes FF y A Bhargava (2011). Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 7: 124–827.
- Fuentes FF, D Bazile, A Bhargava y EA Martinez (2012). Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science* 150: 702–716.
- Fuentes FF, EA Martínez, PV Hinrichsen, EN



- Jellen y PJ Maughan (2009). Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conservation Genetics* 10: 369–377.
- García M, Raes D, Jacobsen S-E (2003). Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management* 60:119–134.
- Geerts S, Raes D, Garcia M, Del Castillo C, Buytaert W (2006). Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: A case study for quinoa. *Agricultural and Forest Meteorology* 139:399–412.
- Gómez-Caravaca A, G lafelice, A Lavini, C Pulvento, M Caboni, y E Marconi (2012). Phenolic compounds and saponins in quinoa samples (*Chenopodium quinoa* Willd.) grown under different saline and nonsaline irrigation regimes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60: 4620-4627.
- Gómez-Pando LR, R Álvarez-Castro y E de la Barra (2010). Effect of salt stress on Peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: a promising crop. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196: 391-396.
- Gonzalez JA, Y Konishi, M Bruno, M Valoy & FE Prado (2011). Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars from two different agroecological regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92: 1222-1229.
- Hamed KB, H Ellouzi, Talbi OZ, Hessini K, Slama I, Ghnaya T, Munné Bosch S, Savouré A & Abdelly C (2013). Physiological response of halophytes to multiple stresses. *Functional Plant Biology* 40: 883-896.
- Hariadi Y, K Marandon, Y Tian, S-E Jacobsen y Shabala S (2011). Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of Experimental Botany* 62: 185-193.
- Hasegawa PM, RA Bressan, JK Zhu & HJ Bohnert (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology* 51: 463–499.
- Iyengar ERR y MP Reddy (1996). Photosynthesis in highly salt tolerant plants. In: Pesserkali, M. (Ed.), *Handbook of Photosynthesis*. Marshal Dekar, Baten Rose, USA, pp. 897–909.
- Jacobsen S-E, JL Christiansen y J Rasmussen (2010). Weed harrowing and inter-row hoeing in organic grown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Outlook on Agriculture* 39: 223–227.
- Jacobsen S-E, CR Jensen y F Liu (2012). Improving crop production in the arid Mediterranean climate. *Field Crops Research* 128: 34–47.
- Jacobsen S-E, F Liu y CR Jensen (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae* 122: 281–287.
- Jacobsen S-E, C Monteros, JL Christiansen, LA Bravo, LJ Corcuera y A Mujica (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy* 22: 131–139.
- Jacobsen S-E, C Monteros, LJ Corcuera, LA Bravo, JL Christiansen y A Mujica (2007). Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy* 26: 471–475.
- Jacobsen S-E, A Mujica & CR Jensen (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International* 19: 99-109.
- Jou Y, YL Wang y HCE Yen (2007). Vacuolar acidity, protein profile, and crystal composition of epidermal bladder cells of the halophyte *Mesembryanthemum crystallinum*. *Functional Plant Biology* 34: 353–359.
- Karyotis Th, C Iliadis, Ch Noulas y Th Mitsibonas (2003). Preliminary research on seed production and nutrient content for certain quinoa varieties in a saline-sodic soil. *Journal of Agronomy and Crop Science* 189: 402-408.
- Koyro H-W y SS Eisa (2008). Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant Soil* 302: 79-90.

- Kusano T, T Berberich, C Tateda y Y Takahashi (2008). Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta* 228: 367-381.
- Maughan PJ, TB Turner, CE Coleman, DB Elzinga, EN Jellen, JA Morales, JA Udall, DJ Fairbanks y A Bonifacio (2009). Characterization of *Salt Overly Sensitive 1 (SOS1)* gene homoeologs in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Genome* 52: 647-657.
- Morales AJ, P Bajgain, Z Garver, PJ. Maughan y JA. Udall (2011). Physiological responses of *Chenopodium quinoa* to salt stress. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 3: 219-232.
- Munns R y M Tester (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Noctor G y CH Foyer (1998). Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49: 249-279.
- Orsini F, M Accorsi, G Gianquinto, G Dinelli, F Antognoni, KB Ruiz-Carrasco, EA Martínez, M Alnayef, I Marotti, S Bosi y S Biondi (2011). Beyond the ionic and osmotic response to salinity in *Chenopodium quinoa*: functional elements of successful halophytism. *Functional Plant Biology* 38: 1-14.
- Prado FE, C Boero, M Gallardo y JA González (2000). Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 41: 27-34.
- Pulvento C, M Riccardi, A Lavini, R d'Andria, G lafelice y E Marconi (2010). Field trial evaluation of two *Chenopodium quinoa*'s genotypes grown in rainfed conditions in a Mediterranean environment of south Italy. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 407-411.
- Pulvento C, M Riccardi, A Lavini, G lafelice, E Marconi y R d'Andria (2012). Yield and quality characteristics of *Chenopodium quinoa* Willd. grown in open field under different saline and not saline irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science* 198: 254-263.
- Qiu Q-S, Y Guo, MA Dietrich, KS Schumaker y J-K Zhu (2002). Regulation of SOS1, a plasma membrane  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  exchanger in *Arabidopsis thaliana*, by SOS2 and SOS3. *Proceedings of the National Academy of Science, U.S.A.* 99: 8436-8441.
- Razzaghi F, SH Ahmadi, VI Adolf, CR Jensen, S-E Jacobsen & MN Andersen (2011a) Water relations and transpiration of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 348-360.
- Razzaghi F, SH Ahmadi, S-E Jacobsen, CR Jensen y MN Andersen (2011b) Effects of salinity and soil-drying on radiation use efficiency, water productivity and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 198: 173-184.
- Rorat T (2006). Plant dehydrins tissue location, structure and function. *Cellular & Molecular Biology Letters* 11: 536-556.
- Rosa M, M Hilal, JA González y FE Prado (2009). Low-temperature effect on enzyme activities involved in sucrose-starch partitioning in salt-stressed and salt-acclimated cotyledons of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 300-307.
- Ruffino AMC, M Rosa, M Hilal, JA González y FE Prado (2010). The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. *Plant Soil* 326: 213-224.
- Ruiz-Carrasco KB, F Antognoni, AK Coulibaly, A Morales, S Lizardi, A Covarrubias, EA Martínez, MA Molina-Montenegro, S Biondi y A Zurita-Silva (2011). Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry* 49: 1333-1341.
- Schabes FI y EE Sigstad (2005). Calorimetric studies of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed germination under saline stress conditions. *Thermochimica Acta* 428: 71-75.
- Shabala L, Y Hariadi y S-E Jacobsen (2013). Genotypic difference in salinity tolerance in

quinoa is determined by differential control of xylem  $\text{Na}^+$  loading and stomatal density *Journal of Plant Physiology* 170: 906–914.

Shabala S y A Mackay (2011). Ion transport in halophytes. *Advances in Botanical Research* 57: 151–187.

Shabala L, A Mackay, Y Tian, S-E Jacobsen, D Zhou y S Shabala (2012). Oxidative stress protection and stomatal patterning as components of salinity tolerance mechanism in quinoa. *Physiologia Plantarum* 146: 26–38.

Shi H, FJ Quintero, JM Pardo y J-K Zhu (2002). The putative plasma membrane  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporter SOS1 controls long-distance  $\text{Na}^+$  transport in plants. *Plant Cell* 14: 465–477.

Suhayda CG, Redmann RE, Harvey BL y Cipywnyk AL (1992). Comparative response of cultivated and wild barley species to salinity stress and calcium supply. *Crop Science* 32: 154–163.

Szabados L y A Savouré (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science* 15: 89–97.

Wilson C, JJ Read y E Abo-Kassem (2002). Effect of mixed-salt salinity on growth and ion relations of a quinoa and a wheat variety. *Journal of Plant Nutrition* 25: 2689–2704.

Woldemichael G M y M Wink (2001). Identification and biological activities of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49: 2327–2332.

## CAPÍTULO 2.4.

# TÍTULO: RESPUESTAS A LA SEQUÍA Y ADAPTACIÓN DE LA QUINUA

\*Autor correspondiente: Andrés ZURITA-SILVA <[andres.zurita@inia.cl](mailto:andres.zurita@inia.cl)>

ANDRÉS ZURITA-SILVA <sup>a</sup>, SVEN-ERIK JACOBSEN <sup>b</sup>, FATEMEH RAZZAGHI <sup>c</sup>, RICARDO ALVAREZ-FLORES <sup>d</sup>, KARINA B. RUIZ <sup>e</sup>, ANDREA MORALES <sup>f</sup>, HERMAN SILVA <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro de Investigación Intihuasi, Colina San Joaquín s/n, Casilla 36-B, La Serena, Chile

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias de la Universidad de Copenhague, Højbakkegaard Allé 13, DK-2630 Taastrup, Dinamarca.

<sup>c</sup> Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Shiraz, Irán

<sup>d</sup> Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), UMR 5175 CEF, F-34293 Montpellier, Francia.

<sup>e</sup> Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola, Laboratorio de Genómica Funcional y Bioinformática, Av. Santa Rosa 11315, 8820808 La Pintana, Casilla 1004, Santiago, Chile.

<sup>f</sup> Programa Doctorado en Biotecnología de la Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile.

## Resumen

La quinua prospera en una amplia gama de condiciones de suelo y clima, desde zonas frías y áridas a regiones tropicales húmedas. La capacidad de adaptación de la quinua a varios niveles de sequía se debe a la diferenciación de una diversidad de ecotipos que se originaron en agro-ambientes contrastantes. Las plantas presentan diferentes estrategias de adaptación al estrés por sequía, desde adaptaciones fisiológicas a morfológicas que sirven a una variedad de respuestas al déficit hídrico, que incluyen la evitación, la resistencia y la tolerancia. Las plantas hacen frente a la sequía mediante el cambio y la modificación de procesos fisiológicos fundamentales tales como la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas y los metabolismos hormonales y antioxidantes. Las respuestas de la planta a la sequía implican cambios en el crecimiento de la hoja y la raíz, en algunos casos con fuerte variación ontogenética. Estas respuestas a la sequía, tanto a nivel fisiológico como

morfológico muestran la variación intraespecífica en relación a la diferenciación ecotípica. Este capítulo explorará las respuestas a este estrés abiótico y revisará los posibles mecanismos que concurren tanto a nivel de la planta completa como a nivel de tejidos, incluidas las determinaciones recientes desde perspectivas arquitectónicas, morfológicas, fisiológicas y moleculares. Así la quinua representa una valiosa oportunidad y cultivo potencial con respecto a los desafíos presentes y futuros del cambio climático, así como una importante fuente de genes con aplicaciones biotecnológicas.

**Palabras clave:** *Chenopodium quinoa*, sequía, ontogenia, respuestas fisiológicas, caracteres morfológicos, arquitectura de la planta, respuestas moleculares, variación intraespecífica.

## Introducción.

El cultivo Andino de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) fue domesticado y se ha cultivado tradicionalmente en la zona durante



al menos 7.000 años. La diversidad de la quinua comprende cinco ecotipos principales relacionados con los sub-centros de diversidad, que incluyen al Altiplano (Perú y Bolivia), Valles inter-andinos (Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú), Salares (Bolivia, Chile y Argentina), Yungas (Perú, Bolivia y Argentina) y Nivel del mar (Chile) (Risi y Galwey 1989a, b; Bertero *et al.* 2004). Su gran diversidad incluye la adaptación a las condiciones ambientales de origen, tales como un gradiente de condiciones edafoclimáticas y un amplio rango de altitudes desde el nivel del mar hasta los 4.000 m sobre el nivel del mar, precipitación anual que oscila entre los 2.000 mm a la aridez extrema (Las Quinas-Antofalla en Argentina, donde rara vez llueve y la quinua depende completamente del riego; Bertero *et al.* pers. comm.), una enorme variabilidad de suelos y disponibilidad de nutrientes, y condiciones climáticas desde tropical a árido frío. La capacidad de adaptación a los ecosistemas naturales y cultivados ha hecho de esta especie un modelo excelente para estudiar la variación intra- e inter-específica en los patrones de crecimiento y desarrollo, y las respuestas de la arquitectura de los brotes y la raíz al déficit hídrico. La capacidad de adaptación fisiológica que permite a esta especie crecer bajo sequía y otras condiciones adversas representa una valiosa oportunidad y un potencial con respecto a los desafíos presentes y futuros del cambio climático.

### **Respuestas de la Quinua al Déficit Hídrico.**

Las respuestas y los mecanismos de las plantas para hacer frente a la escasez de agua se pueden dividir en dos grandes categorías: la evitación del estrés y la tolerancia al estrés (revisado por Claeys e Inze, 2013). El objetivo de los mecanismos de evitación del estrés es equilibrar la absorción y la pérdida de agua. La absorción de agua se ve mejorada por la acumulación de solutos para reducir el potencial de agua de los tejidos y por el aumento de crecimiento de las raíces, mientras que la pérdida de agua por evaporación es limitada por el cierre de los estomas, lo que a la vez restringe el crecimiento de brotes y acelera la senescencia foliar. Los mecanismos de tolerancia al estrés tienen por objeto proteger contra el daño celular cuando el estrés se vuelve más severo y los mecanismos de evitación del estrés ya no son suficientes. Estos mecanismos incluyen la detoxificación de las especies reactivas de oxígeno

(ROS) y la acumulación de proteínas protectoras como las proteínas LEA (Late Embryogenesis Abundant) y solutos tales como prolina, el cual tiene una doble función como osmolito y osmoprotector (Claeys e Inze 2013). Tanto las respuestas de evitación como las de tolerancia son orquestadas principalmente por el ácido abscísico (ABA), aunque los mecanismos ABA-independientes como los relacionados con proteínas del tipo Drought-Responsive Element-Binding (DREB) también juegan un rol (revisado por Nakashima *et al.* 2009).

La quinua posee una capacidad innata excepcional para hacer frente a la escasez de agua en base a su bajo requerimiento de agua intrínseco, y la capacidad de reanudar rápidamente su nivel fotosintético anterior y su área foliar específica después de un período de sequía (Galwey 1989; Jensen *et al.* 2000; Jacobsen *et al.* 2003, 2009). Esto hace que la quinua sea apta para cultivo en regiones áridas y semiáridas (por ejemplo India, países de África subsahariana), donde no hay riego y los agricultores dependen de la precipitación estacional (Bhargava *et al.* 2006). La tolerancia a la sequía de la quinua ha sido atribuida a su sistema radicular ramificado y profundo que penetra hasta 1,5 m en suelos arenosos (Álvarez-Flores 2012), y la presencia de vesículas en las hojas que contienen oxalato de calcio, lo que podría reducir la transpiración (Jensen *et al.* 2000; Siener *et al.* 2006). Se ha demostrado que la alta eficiencia fotosintética instantánea (medido como la eficiencia fotoquímica o como la eficiencia del uso de la radiación) se mantiene en la quinua a pesar del déficit de agua (Winkel *et al.* 2002; Bosque Sánchez *et al.* 2003). La planta también evita la sequía mediante la reducción de su superficie foliar por desprendimiento de hojas, células con paredes pequeñas y gruesas que preservan la turgencia incluso después de severas pérdidas de agua, y la regulación de los estomas (Jensen *et al.* 2000). Además, la quinua puede escapar de la sequía mediante precocidad (es decir, genotipos tempranos), lo cual es importante en áreas donde el riesgo de sequía aumenta hacia el final de la temporada de crecimiento (sequía terminal), y también por el bajo potencial osmótico y la capacidad para mantener turgencia positiva incluso a bajo potencial hídrico foliar (Jacobsen y Mujica 2001; Bhargava *et al.* 2006). El escape de la sequía aparece como una prolongación del ciclo de

crecimiento en respuesta a la sequía en las primeras etapas vegetativas y como madurez temprana en respuesta a la sequía en las etapas de crecimiento posteriores (Jacobsen *et al.* 2003; Geerts *et al.* 2008). Dada la gran variabilidad genética de los diferentes ecotipos y genotipos de quinua para esta característica, no hay un acuerdo sobre el nivel de resistencia a la sequía de la quinua (Jacobsen y Mujica 2001).

## 2.1. Señales de larga distancia que controlan la expansión foliar y la conductancia estomática.

Las modificaciones y los mecanismos de sequía mencionados anteriormente también son comunes y compartidos con otras plantas, tales como el rápido cierre de los estomas, un aumento de los niveles de ABA y un aumento en el contenido de osmoprotectores (betaína y prolina) (Jacobsen *et al.* 2009). Sin embargo, otros mecanismos siguen siendo poco comprendidos, tales como la acumulación de oxalato de calcio, el aumento de estabilidad de las proteínas y la termoestabilidad de la clorofila, lo que podría ser debido a mecanismos genéticamente diferentes a los que se han reportado (Morales y Zurita 2010; Shabala y Mackay 2011).

Los efectos de la sequía sobre el potencial hídrico foliar ( $\psi_l$ ), la conductancia estomática ( $g_s$ ), la transpiración ( $Tr$ ), la tasa de fotosíntesis ( $A_{max}$ ) y el rendimiento de los cultivos se determinó previamente en condiciones climáticas naturales del Altiplano boliviano sur (Vacher 1998). La sequía causó grandes disminuciones en los parámetros medidos, y hubo un gran, rápido cierre de los estomas, con una reducción asociada de dos tercios en  $Tr$  y  $A_{max}$ , y, a medida que la sequía continuaba, estos parámetros se mantuvieron relativamente estables, mientras que el potencial mínimo alcanzó valores por debajo de  $-4$  MPa. Curiosamente, también se ha observado que los estomas no parecen responder al ácido abscísico (ABA), salvo en sequías muy extremas, y que las plantas de quinua pueden fotosintetizar durante un largo período bajo riego extremadamente escaso, incluso durante 3 días después de cerrados los estomas (Jacobsen *et al.* 2009). Cuando los estomas se cierran, un fenómeno que ocurre en muchas especies de plantas, pero que aún no se ha demostrado en la quinua, es que el ácido oxálico se reconvierte en dióxido de carbono para la fotosíntesis, lo que permite una excelente eficiencia del uso del agua (Sen *et al.* 1971). Al

estudiar cómo las señales químicas e hidráulicas del sistema radicular de plantas controlaban el intercambio gaseoso al crecer en un suelo que se está secando, Jacobsen *et al.* (2009) determinaron que la fotosíntesis se mantuvo después del cierre de los estomas y, curiosamente, sólo se detectó un ligero incremento de ABA en el xilema. También se registró ABA cuando el cultivo se encontró con un estrés muy leve, lo que demuestra que la señalización química también puede jugar un papel importante en el mantenimiento de la conductancia estomática en estas condiciones (Hariadi *et al.* 2011; Razzaghi *et al.* 2011). Otros mecanismos para mantener la turgencia bajo sequía creciente podrían ser el ajuste osmótico, como se sugiere en otros cultivares de quinua, y compuestos antitranspirantes distintos al ABA en la savia del xilema (Jacobsen *et al.* 2009; Hariadi *et al.* 2011). Estos autores concluyeron que durante el secado del suelo, las plantas de quinua presentan un cierre sensible de los estomas por el cual las plantas son capaces de mantener  $\psi_l$  y  $A_{max}$ , lo que resulta en un aumento de la eficiencia del uso del agua (EUA). El modesto papel de la regulación por ABA de origen radicular significa que la quinua debe depender también de la regulación hidráulica a través de un cambio en la turgencia u otras sustancias químicas aún por determinar (Jacobsen *et al.* 2009).

Los candidatos naturales para las funciones de regulación incluyen otras hormonas, en las cuales se ha demostrado que juegan un papel importante en el ajuste del crecimiento a la disponibilidad de agua. De hecho, el análisis de transcritos del tejido foliar en proliferación y expansión de plantas de *Arabidopsis* expuestas a estrés osmótico leve, revelaron el papel del etileno y ácidos giberélicos (AGs) en la aclimatación al estrés hídrico moderado tanto a corto plazo como a largo plazo (Skirycz *et al.* 2011; Claeys e Inze 2013). Esta importante función de los AGs en la regulación del crecimiento fue corroborada por otros estudios que analizaron el tejido foliar en diferentes etapas de desarrollo en *Brachypodium distachyon* y maíz sometidos a sequía leve (Verelst *et al.* 2013; Claeys e Inze 2013). El papel de la *hormona del estrés* ABA es confuso en la quinua y otras especies, pero el consenso actual sugiere que el ABA puede tanto inhibir directamente el crecimiento, como también puede estimular indirectamente el crecimiento

mediante la reducción de la síntesis de etileno, debido a señales que controlan el crecimiento que son órgano- y tejido- específicas, y por último en condiciones de sequía severa el ABA puede activar la expresión de acuaporina, controlando de esta manera la conductancia hidráulica (Tardieu *et al.* 2010, Wilkinson y Davies 2010; Claeys e Inze 2013).

## 2.2. Mantenimiento de turgencia y ajuste osmótico.

La evidencia reciente sugiere que la quinua aparentemente utiliza un sistema diferente para la adaptación a suelos con déficit de agua a la que se ha informado anteriormente en el maíz, mostrando interacciones entre N, ABA y el pH de xilema al comportamiento de los estomas durante el secado del suelo (Jacobsen *et al.* 2009). Posiblemente, los mecanismos utilizados por la quinua para mantener la turgencia bajo una sequía creciente, en los que ABA aparentemente juega un papel menor, pueden incluir el ajuste osmótico (Jensen *et al.* 2000). Tanto una tasa de fotosíntesis neta elevada y los valores del área foliar específica (SLA) durante el crecimiento vegetativo temprano probablemente resultan en el vigor temprano de la quinua, apoyando la captación temprana de agua y de este modo tolerancia a la sequía posterior. Las relaciones hídricas de la hoja se caracterizan por un potencial osmótico bajo y la relación peso turgente/peso seco baja (PT/PS) durante las etapas de crecimiento posteriores, manteniendo un gradiente de potencial para la absorción de agua y el mantenimiento de la turgencia (Jensen *et al.* 2000). El bajo potencial osmótico característico en la quinua probablemente genera tolerancia a la sequía, como en el caso de la disminución del potencial osmótico por ajuste osmótico en otras especies cultivadas como el trigo.

Otra posible explicación para el cierre de estomas inducido por sequía, es que la quinua produce otros compuestos antitranspirantes diferentes a ABA en la savia del xilema. Las citocininas, los antagonistas clásicos de ABA, pueden jugar un papel. Cuando el transporte de citocinina se reduce en el xilema, por ejemplo como resultado del suministro limitado de N, la sensibilidad de los estomas al ABA del xilema puede incrementarse (Jacobsen *et al.* 2009). Estos autores concluyeron que durante el secado del suelo las plantas de quinua presentan un cierre sensible de los estomas, manteniendo el potencial

hídrico foliar y la fotosíntesis, lo que resulta en un aumento de la eficiencia del uso del agua (EUA). La falta aparente de una regulación significativa de ABA de origen radicular significa que la quinua debe depender también de la regulación hidráulica a través de un cambio en la turgencia o la actividad de otros compuestos biológicos aún por determinar (Jacobsen *et al.* 2009).

Un incremento en el nivel total de azúcares solubles, prolina y glicina-betaína inducido por estrés salino fue reportado en la quinua (Jacobsen *et al.* 2007, 2009; Ruffino *et al.* 2010). La glicina-betaína y otros derivados de betaína han sido ampliamente reconocidos como los principales osmolitos en varias especies. Estos dos solutos compatibles pueden ser responsables de alrededor del 3% de los valores de osmolalidad total medidos en experimentos sobre las respuestas de la quinua a la salinidad (Hariadi *et al.* 2011), consistente con y sugiriendo un papel indirecto de los solutos compatibles en el ajuste osmótico de las plantas.

Una forma muy diferente y sorprendente de interacción entre la tolerancia y el crecimiento está mediada por la prolina, la cual se acumula en respuesta a muchos tipos de estrés abiótico y actúa como un osmolito osmoprotector-regulador del equilibrio redox y molécula de señalización. La prolina también se considera el único osmolito capaz de eliminar los radicales libres, garantizando así la estabilización de las membranas y previniendo la desnaturalización de proteínas durante el estrés osmótico severo (Szabados y Saviouré 2010; Shabala *et al.* 2012). Recientemente, se demostró que la prolina es transportada a los tejidos en crecimiento para actuar como fuente de energía para soportar el crecimiento de la raíz y de los brotes, ya que el catabolismo de la prolina transfiere electrones directamente a la cadena de transporte de electrones mitocondrial (Sharma *et al.* 2011).

Como la salinidad y la sequía comparten respuestas osmóticas comunes, la acumulación de azúcares y prolina permite a las plantas mantener la presión de turgencia celular necesaria para la expansión celular en condiciones de estrés; también actúan como osmoprotectores. De hecho, 300 mM NaCl indujeron una acumulación de prolina en todos los genotipos de quinua evaluados; éstos podían ser diferenciados entre los que exhibieron un aumento

moderado, y aquellos que acumularon niveles de este osmolito 3 a 5 veces más alto que los niveles del control. Considerando que este soluto compatible actúa como osmoprotector con una función positiva en la mitigación del estrés abiótico, la acumulación más alta de prolina se correlacionó con el genotipo de quinua más tolerante a la sal (Ruiz-Carrasco *et al.* 2011).

### 2.3. Crecimiento de las hojas, cambios adaptativos morfológicos y anatómicos.

La inhibición del crecimiento de la hoja mejora el balance hídrico y la tolerancia al estrés mediante la limitación de la pérdida de agua, y así asegura la supervivencia de plantas bajo déficit hídrico. Sin embargo, si esta restricción es sólo temporal, limitar el crecimiento demasiado extensivamente (evasión de riesgos) puede conducir a una situación de desventaja competitiva y pérdidas de rendimiento innecesarias. Por el contrario, el crecimiento continuo (asunción de riesgos) puede poner en peligro la supervivencia cuando la limitación de agua resulta ser larga y severa. Por lo tanto, un balance entre el crecimiento y la supervivencia o, en otras palabras, la elección entre los riesgos está regulada rigurosamente (Claeys e Inze 2013).

En consecuencia, la regulación del crecimiento destinada a limitar el crecimiento de brotes y, de ese modo el área de transpiración, es una parte integral de las respuestas a la sequía de varias plantas. Se ha hecho evidente que se trata de una respuesta muy rápida y regulada de forma activa, que no es simplemente una consecuencia de la hidráulica alterada, ya que no puede ser abolida cuando se mantiene el potencial hídrico del xilema, y ocurre en diferentes especies incluso cuando el potencial hídrico foliar no se ve afectado. El crecimiento también es mucho más sensible a la limitación de agua que a la fotosíntesis, y en consecuencia hidratos de carbono como el almidón a menudo se acumulan en plantas estresadas, lo que demuestra que la reducción del crecimiento no es solamente una consecuencia de la privación de carbono. Hay una disminución rápida y aguda en la tasa de elongación de la hoja en muchas especies, denominada inhibición del crecimiento agudo, seguido por la recuperación de una nueva tasa de crecimiento estacionario, conocida como aclimatación (Skirycz e Inze 2010). De hecho, la tasa de expansión de la hoja (LER) determinada para la

quinua bien regada, cultivada en macetas en un invernadero de ambiente controlado fue bastante alta (hasta 500 mm<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> planta<sup>-1</sup>), mientras que disminuyó a 0 y fue significativamente más baja que el control desde el inicio de la sequía. La LER se redujo por sequía alrededor de 50% en promedio durante los primeros 10 días en comparación con las plantas bien regadas. Además, la superficie foliar de la planta se determinó tanto por la superficie de hojas individuales como por el número de hojas, y la sequía puede afectar a ambos. Sin embargo, los autores observaron que la reducción de la expansión de hojas individuales y de la superficie foliar de la planta completa ocurrió en un estado hídrico de suelo similar (Jacobsen *et al.* 2009).

Otras respuestas de la quinua a la sequía fueron señaladas previamente en este capítulo (Dizes 1992; Vacher 1998), tales como la senescencia foliar masiva, más la existencia de muchas vesículas o glándulas en tallos y hojas cuyo volumen varía con el déficit hídrico. Aunque las condiciones de sequía severa provocan la marchitez de las hojas de la quinua, disminuyendo en consecuencia la transpiración de la hoja mediante la reducción de la superficie foliar expuesta a la radiación solar, la quinua ha desarrollado una notable capacidad para reanudar rápidamente la formación de hojas después de una gran sequía, y, adicionalmente, tiene un punto de marchitez más bajo que otros cultivos Andinos tales como la papa amarga (*Solanum juzepczukii*) y la papa dulce (*Ipomoea batatas*) (Dizès 1992). Las superficies foliares expandidas son lisas, porque las hojas maduras pierden los tricomas y tienen una epidermis cuticular gruesa, mientras que las hojas jóvenes están cubiertas por múltiples vesículas que contienen oxalato de calcio y anhídrido silícico que son de naturaleza higroscópica y reducen la transpiración, tal como se ha determinado por microscopía electrónica de barrido en hojas jóvenes y parénquima cortical, lo que sugiere un papel indirecto en la economía del agua y el mantenimiento de la turgencia (Dizès 1992; Shabala y Mackay 2011). Otra característica anatómica que probablemente confiere tolerancia a la sequía en la quinua consiste en estomas hundidos profundamente en la epidermis de las hojas (Dizès 1992). Del mismo modo, las pequeñas células de paredes gruesas pueden adaptarse mejor a las grandes pérdidas de agua sin pérdida de turgencia



(Jensen *et al.* 2000; Jacobsen *et al.* 2003), lo que también sugiere un mecanismo biofísico.

#### **2.4. Importancia de la morfología y la arquitectura radicular para la tolerancia a la sequía.**

El sistema radicular es un órgano complejo de la planta con múltiples funciones críticas: anclaje y apoyo, exploración del suelo, adquisición y transporte de agua y nutrientes, síntesis y exudación de metabolitos secundarios (Hodge 2009). Cuando la absorción de agua por las raíces o el transporte de agua por el xilema se hace insuficiente para satisfacer la evapotranspiración, o la demanda de agua no se satisface a tiempo por la absorción y transporte de la raíz, como en el déficit hídrico transitorio en los cultivos de regadío, las plantas entran en déficit hídrico, lo que puede afectar la acumulación de materia seca (crecimiento), así como la fenología de las plantas (Passioura y Angus 2010). El crecimiento y el desarrollo son cruciales para la productividad de la planta y, más específicamente, para el rendimiento económico de los cultivos de granos.

La capacidad de las plantas para explorar el suelo y explotar los recursos hídricos depende en primer lugar de la configuración espacial del sistema radicular y de su dinámica de crecimiento durante el ciclo vegetativo (Malamy 2005; Hodge 2009). La configuración general o la arquitectura del sistema radicular se describe sobre la base de patrones dicotómicos (sin un eje radicular predominante) o de “espinas de pescado” (con una raíz principal que apoya raíces laterales). En cuanto a la dinámica de crecimiento del sistema radicular, las plantas con una mayor capacidad de expansión de raíces pueden alcanzar capas de suelo con una mayor disponibilidad de recursos con mayor rapidez que los que tienen un crecimiento de la raíz lento o espacialmente limitado.

Además de la arquitectura del sistema radicular, la adquisición de agua por las plantas también depende de la morfología y la anatomía de la raíz. Por ejemplo, la longitud radical específica (LRE: relación de longitud radical / materia seca), se asocia con la capacidad de elongación de las raíces (Eissenstat 1992; Roumet *et al.* 2006). Del mismo modo, el diámetro y el orden de aparición de las raíces pueden modificar la absorción y el transporte de agua a los tejidos superiores de

las plantas (Pregitzer *et al.* 1997; Ito *et al.* 2006). Estos caracteres de arquitectura y morfología radicular pueden variar debido a muchos factores que interactúan entre sí: la fenología de la planta, las condiciones de crecimiento, la intensidad y la duración de la sequía, y las propiedades del suelo (Fitter 1991; Kranner *et al.* 2010; Nicotra *et al.* 2002).

En este contexto y teniendo en cuenta el carácter efímero de los recursos hídricos del suelo, la capacidad del sistema radicular de ajustarse a estos cambios aparece de importancia fundamental (Reader *et al.* 1993). Varios caracteres de las raíces, tales como LRE o la relación de raíz a brotes (R/S: relación entre materia seca de raíz / materia seca del brote) presentan algún grado de variación, una característica conocida como plasticidad fenotípica radicular (Fitter 1991). Estos caracteres asociados con otras modificaciones anatómicas permitirían una capacidad de transporte superior o una mayor capacidad de exploración en las capas secas del suelo (Nicotra *et al.* 2002). Sin embargo, estas respuestas del sistema radicular también pueden tener un costo de carbono alto (Fitter 1991) y puede ralentizar el desarrollo de otras raíces basales o adventicias (Camina *et al.* 2006), e incluso podría generar competencia entre las raíces.

En cuanto al sistema radicular de la quinua, a excepción de unas breves descripciones de algunos caracteres botánicos (Mujica *et al.* 2001), la composición química y la relación Raíz/Brote (Schlick y Bubenheim 1996; Bosque Sánchez *et al.* 2003), interesantes estudios se han enfocado recientemente en la señalización hormonal de las raíces (Jacobsen *et al.* 2009; Razzaghi *et al.* 2011), y sobre el impacto del agua y de factores medio ambientales en la relación Raíz/Brote y la longitud de la raíz (González *et al.* 2009a, b). En términos de respuestas morfológicas al déficit hídrico, estos estudios han demostrado que la distribución de la biomasa entre raíces y brotes no se ve afectada por el déficit de agua en la quinua (Bosque Sánchez *et al.* 2003; González *et al.* 2009a), lo cual sugiere la intervención de otros mecanismos adaptativos en respuesta a la sequía.

#### **Adaptaciones y Caracteres.**

Un crecimiento de brotes mejorado es visto como un factor que contribuye a mejorar el rendimiento

de plantas bajo condiciones limitantes de agua, ya que esto reduce la evapotranspiración y también está coordinado con un mayor crecimiento de las raíces y mejor absorción de agua. Sin embargo, los factores que controlan los mecanismos de crecimiento y tolerancia son importantes para el crecimiento continuo en condiciones de sequía leve, ya que esto permite que la planta desactive la inhibición del crecimiento, mientras que mantiene un cierto nivel de protección contra el daño (Claeys e Inze 2013). Enfocarse en caracteres particulares puede exacerbar los problemas en condiciones de sequía severa, donde la falta de  $\text{CO}_2$  por el cierre de los estomas, la inhibición de la fotosíntesis y la reducción de la turgencia limitarán pasivamente el crecimiento (Tardieu *et al.* 2010). En este caso, es necesario utilizar diferentes estrategias para soportar el estrés mientras dure, y al mismo tiempo limitar la transpiración y el daño celular tanto como sea posible, y maximizar el uso del agua. No obstante, la idea de que la eficiencia en el uso del agua es sinónimo de resistencia a la sequía y al alto rendimiento bajo condiciones de estrés de sequía es considerada errónea. En efecto, el fitomejoramiento para maximizar la captura de humedad del suelo para la transpiración es el objetivo más importante para el mejoramiento del rendimiento bajo condiciones de sequía, lo que apoya el concepto del uso eficaz del agua a través de caracteres fisiológicos para minimizar las variaciones de rendimiento (Blum 2009; González *et al.* 2011).

### 3.1. Intercambio gaseoso, control de estomas y eficiencia en el uso del agua.

Se analizaron variaciones genotípicas de intercambio gaseoso foliar y el rendimiento de semillas en diez genotipos de quinua adaptados a elevadas altitudes en el norte de Argentina en condiciones de sequía. Los resultados mostraron que la quinua podría producir interesantes rendimientos de grano (es decir, variedades prometedoras produciendo hasta 3.855 kg/ha) en las regiones áridas distintas al Altiplano boliviano bajo riego reducido (González *et al.* 2011). Este estudio plantea la posibilidad de que la conductancia estomática es un carácter hereditario asociado con la prevención del estrés térmico por calor y el aumento de los rendimientos. Siendo que la producción de biomasa está estrechamente relacionada con la tasa de transpiración, el

objetivo más importante del fitomejoramiento para optimizar los rendimientos en condiciones de sequía es maximizar la absorción de la humedad del suelo para la transpiración (González *et al.* 2011). Estudios previos revelaron que la quinua desarrolló mecanismos de adaptación para hacer frente a la sequía a través de una alta eficiencia en el uso del agua y altas proporciones de Raíz/Brote. La máxima eficiencia fotoquímica del fotosistema II (fluorescencia de clorofila relación Fv/Fm) y el análisis de enfriamiento ("quenching"; qP y qN) mostró que las plantas de quinua deshidratadas estuvieron menos protegidas de la fotoinhibición que las plantas estresadas con sal (Bosque Sánchez *et al.* 2003). Estudios similares de fluorescencia de la clorofila demostraron una recuperación rápida de la fotosíntesis en plantas de quinua jóvenes después de un período de estrés por sequía, lo que sugiere el mantenimiento de una alta eficiencia fotoquímica a pesar de un déficit hídrico (Winkel *et al.* 2002).

Otros caracteres fisiológicos y bioquímicos también han proporcionado información útil acerca de las adaptaciones de las plantas a las condiciones áridas y semiáridas usando el rendimiento y la concentración de clorofila, ya que la degradación de la clorofila bajo estrés es un ajuste para reducir el flujo de electrones entre el Fotosistema I y Fotosistema II que podría prevenir el daño foto-oxidativo. En consecuencia un alto contenido de clorofila y carotenoides son rasgos deseables, ya que indican bajos niveles de fotoinhibición (González *et al.* 2011). Además, la conductancia estomática se mantuvo relativamente estable con un intercambio gaseoso bajo, pero constante en condiciones muy secas y bajo potencial hídrico foliar. La quinua mantuvo una alta eficiencia en el uso del agua para compensar la disminución en conductancia estomática foliar y la ganancia de carbono, mediante la reducción al mínimo de la pérdida de agua (Vacher 1998).

Se han determinado los efectos de la sequía en la conductancia estomática, fotosíntesis y las relaciones hídricas foliares en las diferentes etapas fenológicas (Jacobsen y Mujica 2001; Razzaghi *et al.* 2011), concluyendo que algunas variedades de quinua presentan parámetros de intercambio gaseoso dentro de la gama normal de plantas C3, y las relaciones hídricas se caracterizan por

potenciales osmóticos bajos que pueden ser un importante carácter asociado con la tolerancia a la sequía. En general, las mediciones son caras y difíciles de implementar, y también tienen generalmente un significado espacial limitado. Un enfoque diferente para evaluar el efecto de la sequía sobre el desarrollo de la quinua se evaluó con tres indicadores diferentes en experimentos de campo: el número de días que el contenido de agua del suelo en la zona radicular estuvo sobre un umbral, la transpiración relativa promedio y la suma normalizada de la transpiración real diaria ( $\Sigma(T_a/ET_0)$ ) Geerts *et al.* 2008a). El mejor indicador para cuantificar el efecto del estrés de sequía pre-antesis en el desarrollo fenológico fue  $\Sigma(T_a/ET_0)$  acumulado hasta 60 días después de la siembra (Geerts *et al.* 2008a). Recientemente, el uso de isótopos estables de carbono proporcionó mediciones exactas que se correlacionaron positivamente con el rendimiento de grano y negativamente con la eficiencia intrínseca del uso del agua (González *et al.* 2011). Este estudio indicó que los genotipos con alto rendimiento en condiciones de estrés tenían mayor conductancia estomática y una mayor transpiración, consistente con reportes para otros cultivos (Blum 2009).

Una evaluación reciente determinó el rendimiento de grano y la interacción con el medio ambiente de nueve genotipos de quinua de diferentes orígenes, que fueron expuestos a dos regímenes de riego (secano y regadío) a lo largo de dos temporadas en un ambiente mediterráneo en el centro de Chile (Garrido *et al.* 2013). Los rendimientos de los genotipos se redujeron a menos del 50% al irrigarse a 44 y 80% de evapotranspiración de referencia. Estos autores determinaron interacciones significativas entre el genotipo y el medio ambiente para rendimiento, índice de cosecha y granos  $m^{-2}$ . Curiosamente, un Análisis de Componentes Principales (PCA) mostró una asociación fuerte y significativa entre rendimiento, índice de cosecha y el número de granos por  $m^{-2}$ , baja variabilidad

entre genotipos al ser estresados y mucha más variabilidad cuando el estrés no estaba presente (Garrido *et al.* 2013). Los bajos rendimientos se debieron a los efectos de la sequía en las fases claves de prefloración, floración y grano pastoso, las cuales fueron determinadas previamente como las etapas más sensibles al estrés hídrico en la quinua, con un efecto negativo tanto en el rendimiento de grano total como en la EUA (García 1991; Geerts *et al.* 2008a).

### 3.2. Morfología y arquitectura radicular de los ecotipos de quinua.

Estudios recientes abren nuevas perspectivas sobre la morfología y la arquitectura radicular de la quinua, su diversidad intraespecífica y la plasticidad en respuesta a la sequía (Álvarez-Flores 2012). Por esta razón, es útil tener en cuenta los contrastes existentes entre los ecotipos de quinua, tales como el ecotipo Salares del Altiplano seco del sur de Bolivia y el ecotipo del nivel del mar de tierras bajas costeras húmedas de Chile, dos ecotipos que difieren en sus caracteres morfo-fisiológicos (Risi y Galwey 1989a), así como en las condiciones edafoclimáticas de su hábitat nativo (Cuadro 1). El Altiplano Sur se caracteriza por altitudes cercanas a 3.700 m, suelos arenosos o rocosos, un clima frío y árido, con más de 250 días de heladas al año en las zonas más extremas y una precipitación media anual de 150 a 300 mm (Aroni *et al.* 2009). La baja cantidad y frecuencia de las precipitaciones, la alta tasa de evaporación y baja capacidad de retención de agua del suelo son factores extremadamente adversos para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (García *et al.* 2007). El ambiente de los cultivos es completamente diferente 2.000 kilómetros hacia el sur en las altas latitudes y ambientes lluviosos de las tierras bajas de la costa pacífico de Chile. El hábitat templado y húmedo trae condiciones mucho más favorables para la agricultura, con más de 1.200 mm de precipitación distribuida en todo el año y suelos con una alta capacidad de retención de agua (Tosso 1985).

Cuadro 1. Origen de los dos ecotipos de quinua estudiados

Ecotipo	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud
Salares	Jirira, Bolivia	19 ° 51'S	67 ° 34'W	3700 m
Nivel del mar	Cunco, Chile	38 ° 56'S	72 ° 03'O	200 m

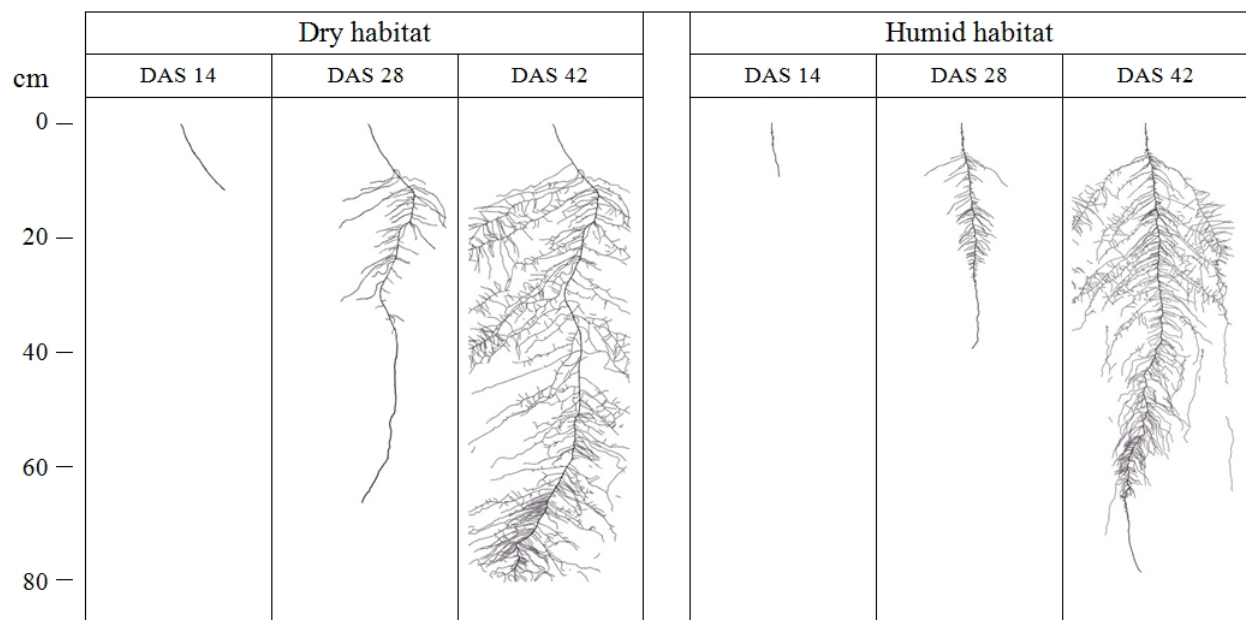
Estudios con rizotrones bajo condiciones controladas permitieron la comparación del crecimiento radicular de plantas de quinua cultivadas en un suelo arenoso con una disponibilidad de agua no-limitante (12% de humedad volumétrica) o restringido (7% de humedad volumétrica) durante dos meses comenzando después de la germinación de las semillas (Álvarez-Flores 2012). Este período correspondió a la fase crítica de establecimiento del cultivo y el crecimiento vegetativo de la planta, que representa casi la mitad del ciclo completo del cultivo. Bajo condiciones de agua no limitantes ambos ecotipos de quinua presentaron un patrón de arquitectura radicular del tipo “espinas de pescado”. En general, esta topología reduce la competencia entre las raíces de la misma planta, así como entre las raíces de las plantas vecinas, optimizando de esta forma la explotación de los recursos del suelo, más aún cuando estos recursos son limitados (Fitter 1991; León *et al.* 2011). Además, la presencia de un sistema radicular con un fuerte eje principal permite explorar las capas profundas del suelo más rápidamente y de manera más eficiente, una característica crítica en las primeras etapas de desarrollo de la planta (Glimskär 2000; Paula y Pausas 2011).

A pesar de la similitud en la topología de sus raíces, los ecotipos de quinua estudiados diferían en sus dinámicas de crecimiento y las características de sus arquitecturas radiculares. En condiciones no-limitantes, el alargamiento de la raíz primaria fue rápido durante las primeras seis semanas de crecimiento, y se desaceleró a partir de entonces. En la sexta semana, cuando los brotes de ambos ecotipos apenas alcanzaron 6 a 8 cm de altura por encima de la superficie del suelo, la raíz principal del ecotipo Salares alcanzó 1 m de profundidad. El ecotipo del nivel del mar llegó a la misma longitud una semana después, un retraso que refleja diferencias en el vigor inicial de las plántulas en relación al tamaño promedio

de semillas en los ecotipos estudiados (4,9 versus 2,1 mg por semilla para los ecotipos de los Salares y del nivel del mar, respectivamente; Álvarez-Flores 2012). Desde la sexta semana en adelante, cuando la elongación de la raíz primaria comenzó a disminuir, el crecimiento del resto del sistema radicular comenzó a acelerarse debido a la ramificación y alargamiento de las raíces laterales. En consecuencia, la longitud total del sistema radicular alcanzó hasta 650 m/planta, sin diferencias significativas entre ambos ecotipos en la semana nueve bajo condiciones de agua no-limitantes (Álvarez-Flores 2012).

Las diferencias en la arquitectura radicular determinadas entre los ecotipos sólo aparecieron cuando se consideraron dos componentes de la longitud total de la raíz, es decir, el número y la longitud de los segmentos de raíz (elementos de raíz situados entre dos ramificaciones o entre una ramificación y un meristemo radicular). Durante la primera semana, el ecotipo de los Salares produjo una raíz primaria con segmentos más largos que el ecotipo del nivel del mar (7,3 vs. 2,5 cm promedio). Esto permitió al ecotipo Salares explorar capas profundas del suelo rápidamente (Figura 1, 28 días después de la siembra-DDS) y una parte importante de las raíces laterales se formaron en profundidad en la siguiente etapa de ramificación de la raíz (Figura 1, 42 DDS). Estas raíces laterales mostraron segmentos de longitud promedio 50% superior en comparación con los del ecotipo del nivel del mar, lo cual permitió compensar el número igual o similar de segmentos que el ecotipo de los Salares. El resultado final fue que el ecotipo de los Salares no produjo una mayor longitud radical total que el ecotipo del nivel del mar, pero mostró una tasa de colonización mucho más rápida y un sistema radicular más denso en profundidad (Álvarez-Flores 2012).





**Figura 1:** Curso temporal del crecimiento de las raíces en dos ecotipos de quinua de hábitats contrastantes a los 14, 28 y 42 DDS (días después de la siembra).

### 3.3. Respuestas de los ecotipos al déficit hídrico en el sistema radicular de la quinua.

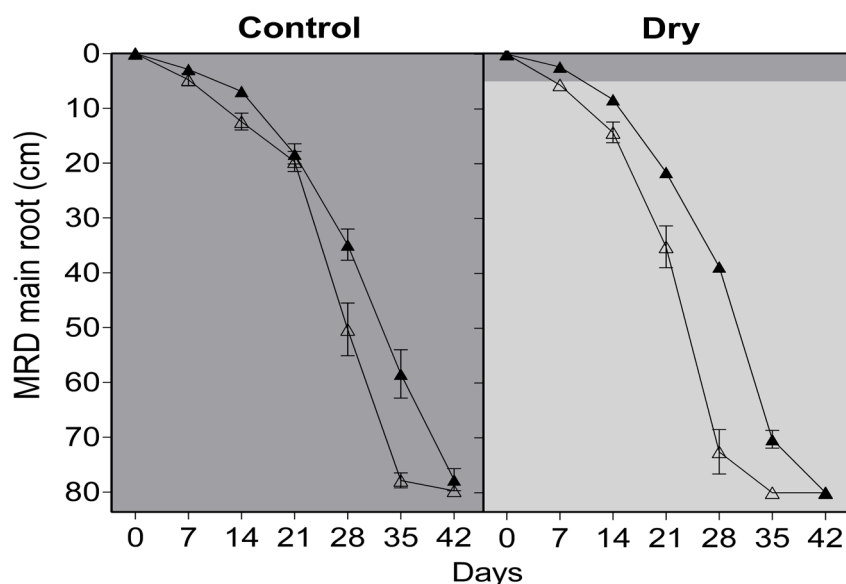
Bajo déficit hídrico, los sistemas radiculares de los ecotipos de los salares y del nivel del mar presentaron una topología más “espina de pescado”, lo cual implicó una mayor reducción en el crecimiento de raíces laterales que en raíces primarias. De hecho, en el caso de sequía producida en las etapas tempranas del crecimiento de la planta, la elongación de la raíz primaria se considera beneficioso para la adquisición de recursos hídricos más profundos y más seguros, mientras que una densa ramificación de la raíz podría conducir al rápido agotamiento de un recurso hídrico poco fiable de las capas superficiales del suelo (Padilla y Pugnaire 2007). De hecho, las diferencias entre los ecotipos estudiados fueron que el sistema radicular del ecotipo de los Salares presentó un alargamiento más rápido y una colonización más densa en profundidad. Los rasgos arquitectónicos del sistema radicular del ecotipo de los Salares puede explicar una práctica común en las zonas más secas del Altiplano, el cultivar los campos de quinua cada dos años para acumular agua en las capas profundas del suelo durante el año libre de cultivos.

El déficit hídrico también redujo la longitud total de los sistemas radiculares con un menor impacto en el ecotipo de los Salares: -38% vs -57% en el ecotipo del nivel del mar. Sin embargo, estas reducciones del crecimiento afectaron más severamente a las partes aéreas que a las partes subterráneas de la planta, como muestra el aumento de la relación Raíz/Brote en plantas de ambos ecotipos bajo estrés hídrico. En general, el déficit hídrico no afectó la longitud promedio de los segmentos radiculares. En cambio, la reducción significativa de la longitud total del sistema radicular bajo déficit hídrico fue el resultado de un número reducido de segmentos radiculares, con una diferencia entre los ecotipos: el número de segmentos se redujo en sólo un 8% en la quinua de los Salares *versus* 23% en la quinua del nivel del mar. Esto podría implicar una diferencia ecotípica significativa en los sistemas radiculares en cuanto a la absorción de agua y la sensibilidad a los déficits hídricos (Álvarez-Flores 2012).

Cabe señalar que el déficit hídrico estimuló la elongación de la raíz primaria en ambos ecotipos en comparación con un disponibilidad no-limitante de agua. En el ecotipo de los Salares las raíces primarias crecieron hasta 50 cm durante las primeras cuatro semanas del ciclo de la planta bajo condiciones no-

limitantes, mientras que alcanzaron los 75 cm en el mismo intervalo de tiempo bajo déficit hídrico. En el ecotipo del nivel del mar los valores fueron 35 y 40 cm, respectivamente, en las mismas condiciones (Figura 2). El rápido alargamiento de la raíz primaria permitió al ecotipo de los Salares producir raíces laterales distribuidas de manera uniforme a través

de todo el perfil del suelo, con una densidad de raíces similar a la de las plantas que crecen con mayor disponibilidad de agua. En contraste, el ecotipo del nivel del mar concentró sus raíces laterales en las capas de suelo de entre 5 y 50 cm y mostró una escasa densidad de raíces en las capas más profundas del suelo (Álvarez-Flores 2012).



**Figura 2:** inámica de la máxima profundidad de enraizamiento (MRD) en dos ecotipos de quinua de los Salares (Δ) y del nivel del mar (▽) (n = 5, las barras verticales muestran los errores estándar, las zonas grises muestran el contenido hídrico del suelo: gris oscuro = 12% vol., gris claro = 7% vol.).

### Estudios Moleculares y Descubrimiento de Genes.

Los esfuerzos para mejorar el cultivo han llevado a un creciente foco en la investigación genética. El primer estudio fue publicado en 2005 por el grupo de Maughan (Coles *et al.* 2005); una base de datos de marcadores de secuencias expresadas (EST: expressed sequence tag) para la quinua utilizando tejidos florales y de semillas inmaduras. Estas secuencias se analizaron para homología con secuencias génicas conocidas y también para la identificación de polimorfismos de nucleótido individual (SNP) para quinua. Se compararon 424 secuencias de cDNA de quinua con secuencias en bases de datos disponibles públicamente. El 67% de las proteínas de quinua mostraron homología con proteínas de *Arabidopsis* con función putativa, un 18% no tuvo coincidencias significativas, un 9% obtuvo homología significativa con proteínas de *Arabidopsis* con función conocida y solamente un 6% compartió homología significativa con proteínas vegetales

de especies distintas a *Arabidopsis*. Fragmentos de 34 ESTs fueron amplificados y secuenciados en cinco accesiones de quinua y una especie de maleza relacionada, *C. berlandieri*. El análisis de las secuencias de ESTs de la quinua reveló un total de 51 SNPs en 20 secuencias ESTs. Recientemente, un artículo del mismo grupo (Maughan *et al.* 2012) reportó la identificación de 14.178 polimorfismos de nucleótido único (SNPs putativos). En este trabajo un escrutinio de diversidad en 113 accesiones de quinua se utilizó para comparar con las 5 accesiones utilizadas en el estudio previo. Este trabajo también permitió la recuperación de los dos principales subgrupos correspondientes a los ecotipos Andinos y del nivel del mar (costera) de quinua. Por lo tanto, los SNPs identificados en este trabajo representan una herramienta genómica valiosa que será muy útil para los programas emergentes de fitomejoramiento en busca de importantes caracteres agronómicos en quinua. Además, un mapeo de ligamiento de los SNPs en dos poblaciones de líneas endogámicas

recombinantes produjo un mapa integrado con 29 grupos de ligamiento, que abarca 1.404 cM (centiMorgan) con una densidad de marcadores de 3,1 cM por marcador de SNP.

Desafortunadamente, la generación de ESTs de quinua basado en la secuenciación Sanger es aún muy limitada en comparación con otras especies. En la actualidad sólo 424 ESTs se encuentran en el dominio público (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucest/?term=chenopodium+quinoa>).

La mayor parte del trabajo realizado en quinua se ha basado en las respuestas al estrés salino, donde se han caracterizado algunos genes importantes. Maughan *et al.* (2009) clonaron y caracterizaron dos homólogos del gen *SOS1* (*cqSOS1A* y *cqSOS1B*) de quinua y encontraron un alto nivel de homología entre estas secuencias génicas y ortólogos de *SOS1* de otras especies. La expresión del gen *cqSOS1* tras la aplicación de NaCl fue investigada en un cultivar de los Salares del Altiplano boliviano. Los análisis de expresión génica mostraron una mayor expresión en la raíz en comparación con el tejido foliar en ausencia de salinidad. Sin embargo, la presencia de 450 mM NaCl causó la inducción de ambos genes en hojas, pero no en tejido radicular (Maughan *et al.* 2009). Ruiz-Carrasco *et al.* (2011) confirmaron las diferentes respuestas de anti-portadores de sodio a NaCl en brotes y raíces, y también clonaron y analizaron la expresión de *CqNHX*. Curiosamente, los genes fueron regulados diferencialmente en diferentes genotipos analizados. Se han utilizado diferentes estudios relacionados a este estrés abiótico para estudiar un mecanismo de tolerancia a la sal en quinua (Adolf *et al.* 2012). Sin embargo, se necesitan más estudios y el descubrimiento de nuevos genes, tal como fue revisado por Jellen *et al.* (2013).

También se han realizado estudios sobre los efectos del estrés de sequía temprana (hasta nueve días después de la siembra; Morales *et al.* 2011a). Estos autores utilizaron un genotipo de quinua del Altiplano chileno y realizaron un análisis de secuenciación del transcriptoma en condiciones de riego normal y sequía. El transcriptoma fue secuenciado por el método de Illumina “extremos pareados”. Los resultados obtenidos fueron 53 millones de lecturas bajo condiciones control y 50 millones de lecturas en condiciones de sequía, las cuales fueron ensambladas en 18.000 contigs con tamaños mayores a 1 kb. En este estudio se realizó

un análisis digital de la expresión génica, dando como resultado 529 genes inducidos y 201 genes reprimidos en la condición de sequía (Morales *et al.* 2011 b; Zurita-Silva *et al.* 2014 datos no publicados). Esta base de datos de ARN-seq en sequía está siendo utilizado para descubrir/identificar factores de transcripción en respuesta al estrés salino, dado que estos dos tipos de estrés comparten mecanismos moleculares/fisiológicos similares para lidiar con el estrés osmótico y la toxicidad de iones (Ruiz-Carrasco y Silva, comunicación personal).

- El futuro de los estudios moleculares y el descubrimiento de genes en quinua.

La mayoría de los estudios moleculares en la quinua se han desarrollado en condiciones de estrés salino y la identificación de genes no ha mantenido el ritmo necesario para comprender la base genética de las respuestas fisiológicas diferenciales. El genoma aún no ha sido secuenciado. Recientemente, un análisis del transcriptoma de ARN-seq en diferentes tejidos de *Chenopodium quinoa* utilizando cuatro tratamientos de agua (de capacidad de campo a sequía) en un ecotipo de valle (variedad Ingapirca) y un ecotipo de los salares (variedad Ollague) ha sido liberado (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/bioproject/195391>). Es importante mencionar que se ha publicado un análisis de transcriptoma de amaranto, un pseudo-cereal similar a la quinua, lo que podría servir de referencia para la anotación y el descubrimiento de genes (Délano-Frier *et al.* 2011). Otras estrategias incluyen el estudio de diferentes genotipos de quinua en la búsqueda de los genes que son inducidos por las condiciones de sequía. Una biblioteca de ADNc de longitud completa se generó para transformar *Arabidopsis* y las líneas transgénicas obtenidas fueron evaluadas por su tolerancia a la sequía. Por consiguiente, los genes que esbozan tolerancia en *Arabidopsis* fueron secuenciados e identificados, resultando en candidatos que correspondían tanto a genes ortólogos como a desconocidos, lo cual podría contribuir a identificar genes novedosos de tolerancia a la sequía (Zurita-Silva *et al.* 2014 datos no publicados).

### Conclusiones y Perspectivas.

La quinua soporta condiciones climáticas extremas en varias regiones de su área de distribución, en particular en el altiplano sur de Bolivia, el norte de Chile y noroeste de Argentina. En el sur de Bolivia,

la región líder en el mundo en la producción de quinua para exportación, el cultivo enfrenta sequías frecuentes debido a la precipitación baja e irregular y la alta demanda evaporativa (Vacher *et al.* 1994; Geerts *et al.* 2006; Jacobsen 2011), además de una alta probabilidad de heladas (Jacobsen *et al.* 2005, 2007; Winkel *et al.* 2009; Pouteau *et al.* 2011) y radiación solar extrema debido a la altitud elevada (Vacher *et al.* 1994).

Aunque las causas de la variabilidad en las respuestas fisiológicas de la quinua al medio ambiente siguen siendo en gran parte desconocidas, a menudo se considera que la diversidad de variedades locales de quinua reflejan la selección y adaptación a las condiciones locales de suelo y clima de los diferentes hábitats. Sin embargo, una clara adaptación morfofisiológica de estos genotipos a las condiciones ecológicas locales no se ha demostrado hasta el momento (Del Castillo *et al.* 2007; Winkel *et al.* 2009; García *et al.* 2007). La diversidad de los cinco principales ecotipos de quinua y sus características de tolerancia hacen de la quinua un interesante modelo de planta (Fuentes y Zurita-Silva 2013), mayormente para estudios relacionados al funcionamiento de los componentes del brote relacionados a la fotosíntesis (Bertero 2001; Winkel *et al.* 2002; Jacobsen *et al.* 2005, 2007; Ruiz y Bertero 2008), la regulación hormonal (Jacobsen *et al.* 2009; Gómez *et al.* 2011), la absorción de nutrientes (Razzaghi *et al.* 2012a), y las respuestas al riego deficitario (Geerts *et al.* 2008a, b, c), como ejemplos de algunas de las características incluidas en otros capítulos de este volumen.

Como en otras especies cultivadas, las respuestas y los mecanismos de la quinua para hacer frente a la escasez de agua se incluyen en dos grandes estrategias: la evitación del estrés y la tolerancia del estrés. Sin embargo, esta especie ha mostrado una capacidad excepcional para equilibrar la absorción de agua y la pérdida de agua y así evitar el déficit hídrico. La quinua mejora la absorción de agua a través de la acumulación de solutos tales como prolina para disminuir el potencial hídrico del tejido y la modificación de la arquitectura radicular, así como un ajustado control estomático, restringiendo el crecimiento de brotes y acelerando la senescencia foliar para limitar su pérdida de agua por evaporación. Estos mecanismos requieren de una regulación fina tales como la señalización hormonal, el balance del crecimiento foliar y la conductancia

estomática, el mantenimiento de la turgencia y el ajuste osmótico dinámico. De hecho, Geerts *et al.* (2008a) demostraron la alta plasticidad fenotípica de la quinua como un mecanismo de escape de la sequía. Aunque no se presentó en el mismo estudio un modelo de interacción entre estrés de sequía y tiempo térmico, la plasticidad de la quinua en respuesta a sequías pre-antesis fue cuantificado para condiciones de campo, y el modelo propuesto debería ser validado para otras variedades de quinua y regiones, debería mejorarse considerando también la sequía post-antesis (Geerts *et al.* 2008a). Los valores reportados de rendimiento de semilla por unidad de agua consumida ( $WP_{V/ET}$ ) fueron bastante bajos: oscilaron entre 0,3 y 0,6 kg/m<sup>3</sup> debido a las generalmente bajas condiciones de fertilidad prevalecientes (Geerts *et al.* 2009). Las plantas de quinua también han evolucionado características morfológicas y anatómicas que permiten cambios adaptativos en respuesta a la sequía, como el control de la senescencia foliar, vesículas que contienen oxalato de calcio en tallos y hojas, epidermis cuticulares gruesas y estomas más hundidos que otros cultivos andinos.

Las variaciones en la arquitectura radicular entre los ecotipos de quinua en condiciones limitantes de agua, tales como la tasa de alargamiento de la raíz primaria y la densidad radicular en las capas profundas del suelo, apuntan a una diferenciación genotípica posiblemente asociada con la selección en hábitats con diferentes niveles de disponibilidad de recursos, combinada con la selección por agricultores locales. Estos caracteres del sistema radicular podrían ser de importancia crucial en las condiciones secas del Altiplano, donde la precipitación media anual no satisface las necesidades de agua para un ciclo completo de cultivo. También podrían ser útiles para seleccionar nuevas variedades para agroecosistemas con menores requisitos de insumos (Lynch y Brown 2012). El fitomejoramiento para maximizar la captura de la humedad del suelo para la transpiración es el objetivo más importante para la mejora del rendimiento en condiciones de sequía (Blum 2009).

Con la incorporación de nuevas tecnologías y estrategias, tales como la integración de estudios genómicos, transcriptómicos y de genética reversa, todo el potencial de la variabilidad genética de la quinua se podría utilizar para generar nuevas variedades; ésta también representa una fuente



novedosa para el descubrimiento de genes que podrían servir en otros cultivos de importancia agronómica. Esto frente a desafíos actuales como el cambio climático y las oscilaciones que limitan la producción de alimentos en el mundo. Todas estas características hacen de la quinua un modelo de cultivo excepcional para los estudios de tolerancia al estrés, junto con sus atributos nutricionales sobresalientes (cubierto en el Capítulo 3.4), lo cual representa tanto desafíos como oportunidades para contribuir a la seguridad alimentaria y la soberanía no sólo en los Andes, sino también para agricultores de África, Asia y otras partes del mundo.

### Referencias

- Adolf VI, S-E Jacobsen y S Shabala (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany* 92: 43-54
- Álvarez-Flores RA (2012). Réponses morphologiques et architecturales du système racinaire au déficit hydrique chez des *Chenopodium* cultivés et sauvages d'Amérique andine. Tesis de Doctorado. Université Montpellier 2, Montpellier, Francia. 114 p.
- Aroni JC, M Cayoja y MA Laime (2009). Situación actual al 2008 de la Quinoa Real en el Altiplano Sur de Bolivia. FAUTAPO, La Paz, Bolivia. 172 p.
- Bertero HD (2001). Effects of photoperiod, temperature and radiation on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions. *Annals of Botany* 87:495-502.
- Bertero HD, AJ de la Vega, G Correa, SE Jacobsen y A Mujica (2004). Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crop Research* 89: 2-3, 299-318.
- Bhargava A, SShukla y O Deepak (2006). *Chenopodium quinoa*. An Indian perspective. *Industrial Crops and Products* 23: 73-87.
- Bloom AJ, FSIII Chapin y HA Mooney (1985). Resource limitation in plants-an economic analogy. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 363-392.
- Blum A (2009). Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crop Research* 112(2): 119-23.
- Bois J, T Winkel, J Lhomme, J Raffailac y A Rocheteau (2006) Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy* 25: 299-308.
- Bown D, (1995) Encyclopaedia of Herbs and Their Uses. Herb Society of America. Dorling Kindersley, London.
- Bosque Sanchez H, R Lemeur, P Van Damme y S-E Jacobsen (2003) Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19: 111-119.
- Claeys H y D Inze (2013). The Agony of Choice: How Plants Balance Growth and Survival under Water-Limiting Conditions. *Plant Physiology* 162: 4, 1768-1779.
- Coles ND, CE Coleman, SA Christensen, EN Jellen, MR Stevens, A Bonifacio, JA Rojas-Beltran, DJ Fairbanks y PJ Maughan (2005). Development and use of an expressed sequenced tag library in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for the discovery of single nucleotide polymorphisms. *Plant Science* 168: 439-447.
- Del Castillo C, T Winkel, G Mahy y JP Bizoux (2007). Genetic structure of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from the Bolivian Altiplano as revealed by RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54: 897-905.
- Délano-Frier JP, H Avilés-Arnaut, K Casarrubias-Castillo, G Casique-Arroyo, PA Castrillón-Arbeláez, L Herrera-Estrella, J Massange-Sánchez, NA Martínez-Gallardo, FI Parra-Cota, E Vargas-Ortiz y MG Estrada-Hernández (2011). Transcriptomic analysis of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) using 454 pyrosequencing: comparison with *A. tuberculatus*, expression profiling in stems and in response to biotic and abiotic stress. *BMC Genomics* 12: 363.
- Dizès J (1992). Anatomía de la epidermis de la papa amarga y otros cultivos andinos en relación con la transpiración. In: Rea J y Vacher JJ (eds.) La papa amarga. ORSTOM. La Paz, Bolivia. pp 77-83.
- Eissenstat DM (1992). Costs and benefits of constructing roots of small diameter. *Journal of Plant Nutrition* 15: 763-782.
- Fitter AH (1991). Plant roots: the hidden half. p 3-25.

Characteristics and functions of root systems. Eds. W, Yoav, Eshel, A, Kafkafi, U. New York, USA.

Fuentes F y A Zurita-Silva (2013). Molecular studies. In: Bhargava A. y S. Srivastava Eds. Quinoa: Botany, Production & Uses. CABI Publishers ISBN 9781780642260 Oxfordshire, Reino Unido.

Fuentes FF y A Bhargava (2011). Heat stress. Morphological analysis of Quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 124-134.

Galwey NW (1989) Quinoa. *Biologist* 36: 5.

García M (1991). Comportamiento hídrico de dos variedades de quinoa en respuesta a la sequía. Disertación presentada para el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

García M, D Raes, SE Jacobsen & T Michel (2007). Limitaciones agroclimáticas para la agricultura de secano en el altiplano boliviano. *Journal of Arid Environments* 71: 109-121.

Garrido M, P Silva, Silva H, R Muñoz, C Baginsky, E Acevedo (2013). Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. *IDESIA* (Chile) 31: 2, 69-76.

Geerts S, D Raes, M García, C Del Castillo & W Buytaert (2006). Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: A case study for quinoa. *Agricultural and Forest Meteorology* 139: 399-412.

Geerts S, D Raes, M García, J Mendoza y R Huanca (2008a). Crop water use indicators to quantify the flexible phenology of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to drought stress. *Field Crops Research* 108: 150-156.

Geerts S, D Raes, M García, J Vacher, R Mamani, J Mendoza, R Huanca, B Morales, R Miranda, J Cusicanqui y C Taboada (2008b). Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy* 28:427-436.

Geerts S, D Raes, M García, O Condori, J Mamani, R Miranda, J Cusicanqui, C Taboada, E Yucra y J Vacher (2008c). Could deficit irrigation be a sustainable practice for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the Southern Bolivian Altiplano? *Agricultural Water*

*Management* 95: 909-917.

Geerts S, D Raes, M García, C Taboada, R Miranda, J Cusicanqui, T Mhizha y J Vacher (2009). Modelling the potential for closing quinoa yield gaps under varying water availability in the Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management* 96: 1652-1658.

Glimskär A (2000). Estimates of root system topology of five plant species grown at steady-state nutrition. *Plant and Soil* 227: 249-256.

Gómez MB, PA Castro, C Mignone y HD Bertero (2011). Can yield potential be increased by manipulation of reproductive partitioning in quinoa (*Chenopodium quinoa*)? Evidence from gibberellic acid synthesis inhibition using Paclobutrazol. *Functional Plant Biology* 38: 420-430.

González JA, M Gallardo, M Hilal, M Rosa y FE Prado (2009a). Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies* 50:35-42.

González JA, M Rosa, MF Parrado, M Hilal y FE Prado (2009b). Morphological and physiological responses of two varieties of a highland species (*Chenopodium quinoa* Willd.) growing under near-ambient and strongly reduced solar UV-B in a lowland location. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 96: 144-151.

González JA, M Bruno, M Valoy y FE Prado (2011). Genotypic variation of gas exchange parameters and leaf stable carbon and nitrogen isotopes in ten quinoa cultivars grown under drought. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 81-93.

Hariadi Y, K Marandon, Y Tian, S-E Jacobsen y S Shabala (2011). Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of Experimental Botany* 61: 185-193.

Hodge A (2009). Decisiones de la raíz. *Plant Cell and Environment* 32: 628-640.

Ito K, K Tanakamaru, S Morita, J Abe, y S Inanaga (2006). Lateral root development, including responses to soil drying, of maize (*Zea mays*) and wheat (*Triticum aestivum*) seminal roots. *Physiologia Plantarum* 127:260-267.

Jacobsen S-E (2011). The Situation for Quinoa and Its Production in Southern Bolivia: From Economic

Success to Environmental Disaster. *Journal of Agronomy & Crop Science* 197: 390–399.

Jacobsen SE y A Mujica (2001). Quinua: cultivo con resistencia a la sequía y otros factores adversos. La Gestión de la Biodiversidad: Áreas Protegidas y Áreas Vulnerables. IV Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable. Disponible en: <http://hoeger.com.ve/ama/pdf/sesion-biodiversidad-05.pdf> (Fecha de adhesión: 02-08-2013).

Jacobsen S-E, A Mujica y CR Jensen (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International* 19: 99-109.

Jacobsen, S-E, C Monteros, JL Christiansen, LA Bravo, LJ Corcuera & A Mujica (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy* 22: 131-139.

Jacobsen SE, CR Jensen, y H Pedersen (2005). Use of the relative vegetation index for growth estimation in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food, Agriculture and Environment* 3: 169-175.

Jacobsen S-E, C Monteros, LJ Corcuera, LA Bravo, JL Christiansen y A Mujica (2007). Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy* 26: 471-475.

Jacobsen S-E, F Liu y CR Jensen (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae* 122:2, 281–287.

Jellen EN, PJ Maughan, D Bertero y H Munir (2013). Prospects for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Improvement Through Biotechnology. In: SM Jain & S Dutta Gupta (eds.): *Biotechnology of Neglected and Underutilized Crops*. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-007-5500-0\_8. pp 173-201.

Jensen CR, S-E Jacobsen, MN Andersen, N Núñez, SD Andersen, L Rasmussen & VO Mogensen (2000). Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal of Agronomy* 13: 11-25.

Kranner I, FV Minibayeva, RP Beckett y Seal CE (2010). ¿Qué es el estrés? Los conceptos, las definiciones y las aplicaciones en la ciencia de semillas. *New Phytologist* 188: 655-673.

Lamas R. (2011) Selección de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) a partir del punto de marchitez permanente, como un método para identificar progenitores tolerantes a sequía. Tesis (resumen). Universidad Técnica de Oruro. Bolivia. Disponible en: <http://tesis.dpicuto.edu.bo/facultad-de-ciencias-agrarias-y-veterinarias/48-carrera-de-fitotecnia/738-seleccion-de-genotipos-de-quinuachenopodium-quinoa-willd-a-partir-del-punto-de-marchitez-permanente-como-un-metodo-para-identificar-progenitores-tolerantes-a-sequia.html> (Fecha de adhesión: 02-08-2013).

León MF, FA Squeo, JR Gutiérrez y M Holmgren (2011). Una renovación rápida raíz durante los pulsos de agua aumenta establecimiento de plántulas de arbustos en el desierto de Atacama. *Journal of Vegetation Ciencia* 22: 120-129.

Lynch JP, Brown KM (2012). Las nuevas raíces para la agricultura: aprovecha el fenómeno de raíz. *Philosophical Transactions de la Royal Society B: Ciencias Biológicas* 367: 1598-1604.

Malamy JE (2005). Vías intrínsecas y ambientales de respuesta que regulan la arquitectura del sistema radicular. *Plant, Cell and Environment* 26, 571-584 67-77.

Martínez EA, E Veas, C Jorquera, R San Martín, & P Jara. (2009) La reintroducción de *Chenopodium quinoa* Willd. en Chile árido: El cultivo de las dos carreras de tierras bajas bajo extremadamente bajo riego. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 1-10.

Maughan PJ, SM Smith, JA Rojas-Beltran, D Elzinga, JA Raney, EN Jellen, A Bonifacio, JA Udall, y DJ Fairbanks (2012). Single nucleotide polymorphism identification, characterization, and linkage mapping in quinoa. *The Plant Genome* 5(3), 114-125.

Maughan PJ, TB Turner, CE Coleman, DB Elzinga, EN Jellen, JA Morales, JA Udall, DJ Fairbanks y A Bonifacio (2009). Characterization of *Salt Overly Sensitive 1 (SOS1)* gene homoeologs in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Genome* 52: 647–657.

Morales A, A Zurita y H Silva (2011a). Quinoa as a Drought Tolerance Genes Source. *Plant and Animal Genome XIX Conference*, San Diego, USA. 15-19 Enero.

Morales A, A Zurita-Silva y H Silva (2011b).

Identification of drought tolerance genes in quinoa using a transcriptome analysis approach. *VI Reunión de Biología Vegetal*. Gran Hotel Pucon, Pucon, Chile. November 30-December 2.

Morales A y A Zurita (2010). La quínoa como fuente de genes de resistencia a estrés por sequía. III Congreso Mundial de la Quinua, Oruro, Bolivia. Disponible en: [http://www.infoquinua.bo/?opc=congreso\\_mundial\\_quinoa\\_2010&cat=ponencias&pagina=6](http://www.infoquinua.bo/?opc=congreso_mundial_quinoa_2010&cat=ponencias&pagina=6) (Fecha de acceso: 02-08-2013).

Mujica A, JI Izquierdo y JP Marathée (2001). Origen y descripción de la quinua. en A Mujica, SE Jacobsen, JI Izquierdo y JP Marathée, Eds. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. CD-Rom: Cultivos Andinos. Version 1.0. FAO, Santiago, Chile.

Nakashima K, Y Ito y K Yamaguchi-Shinozaki (2009) Transcriptional regulatory networks in response to abiotic stresses in Arabidopsis and grasses. *Plant Physiology* 149: 88–95.

Nicotra AB, N Babicka y M Westoby (2002). Seedling root anatomy and morphology: an examination of ecological differentiation with rainfall using phylogenetically independent contrasts. *Oecologia* 130: 136-145.

Padilla FM y FI Pugnaire (2007). Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. *Functional Ecology* 21: 489-495.

Passioura JB y JF Angus (2010). Improving productivity of crops in water-limited environments. *Advances in Agronomy* 106: 37-75.

Paula S y JG Pausas (2011). Root traits explain different foraging strategies between resprouting life histories. *Oecologia* 165: 321-331.

Pockman WT y JS Sperry (2000). Vulnerability to xylem cavitation and the distribution of Sonoran Desert vegetation. *American Journal of Botany* 87: 1287-1299.

Pouteau R, S Rambal, JP Ratte, F Gogé, R Joffre y T Winkel (2011). Downscaling MODIS-derived maps using GIS and boosted regression trees: the case of frost occurrence over the arid Andean highlands of Bolivia. *Remote Sensing of Environment* 115: 117-129.

Pregitzer KS, ME Kubiske, CK Yu y RL Hendrick (1997).

Root architecture, carbon and nitrogen in four temperate forest species. *Oecologia* 111: 302-308.

Razzaghi F, SH Ahmadi, VI Adolf, CR Jensen, S-E Jacobsen y MN Andersen (2011). Water relations and transpiration of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 348-360.

Razzaghi F, F Plauborg, S-E Jacobsen, CR Jensen, MN Andersen (2012a). Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural water management* 109: 20–29.

Reader RJ, A Jalili, JP Grime, RE Spencer y N Matthews (1993). A comparative study of plasticity in seedling rooting depth in drying soil. *Journal of Ecology* 81: 543-550.

Risi JC y NW Galwey (1989a). The pattern of genetic diversity in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). I. Associations between characteristics. *Euphytica* 41: 147-162.

Risi JC y NW Galwey (1989b). The pattern of genetic diversity in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). II. Multivariate methods. *Euphytica* 41: 135-145.

Roumet C, C Urcelay y S Díaz (2006). Suites of root traits differ between annual and perennial species growing in the field. *New Phytologist* 170: 357-368.

Ruffino AMC, M Rosa, M Hilal, JA González y FE Prado (2010). The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. *Plant and Soil* 326: 213–224.

Ruiz RA y HD Bertero (2008). Light interception and radiation use efficiency in temperate quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *European Journal of Agronomy* 29: 144-152.

Ruiz-Carrasco KB, F Antognoni, AK Coulibaly, S Lizardi, A Covarrubias, EA Martínez, MA Molina-Montenegro, S Biondi y A Zurita-Silva (2011). Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry* 49: 1333-1341.

Schlick G y DL Bubenheim (1996). Quinoa: candidate crop for NASA's controlled ecological life support



- systems. Ed. Janick J. Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA, EE.UU. pp. 632-640.
- Sen DN, KD Sharma y DD Chawan (1971). Leafless *Euphorbia* in Rajasthan rocks. V. The organic acid metabolism of *E. caducifolia* Haines. *New Phytologist* 70: 381–387.
- Shabala S y A Mackay (2011). Ion Transport in Halophytes. *Advances in Botanical Research* 57: 151-199.
- Shabala L, A Mackay, Y Tian, S-E Jacobsen, D Zhou y S Shabala (2012). Oxidative stress protection and stomatal patterning as components of salinity tolerance mechanism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Physiologia Plantarum* 146: 26–38.
- Sharma S, JG Villamor y PE Verslues (2011). Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential. *Plant Physiology* 157: 292–304.
- Siener R, R Honow, A Seidler, S Voss y A Hesse (2006). Oxalate contents of species of the Polygonaceae, Amaranthaceae and Chenopodiaceae families. *Food Chemistry* 98: 220-224.
- Skirycz A y D Inzé (2010). More from less: plant growth under limited water. *Current Opinion in Biotechnology* 21: 197–203.
- Skirycz A, H Claeys, S De Bodt, A Oikawa, S Shinoda, M Andrianakaja, K Maleux, NB Eloy, F Coppens, S-D Yoo, et al (2011). Pause-and-stop: the effects of osmotic stress on cell proliferation during early leaf development in Arabidopsis and a role for ethylene signaling in cell cycle arrest. *Plant Cell* 23: 1876–1888.
- Szabados L y A Savouré (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science* 15: 89–97.
- Tardieu F, B Parent y T Simonneau (2010). Control of leaf growth by abscisic acid: hydraulic or non-hydraulic processes? *Plant Cell & Environment* 33: 636–647.
- Tosso TJ (1985). Suelos volcánicos de Chile. 723 p. INIA, Santiago, Chile.
- Vacher JJ (1998). Responses of two main Andean crops, quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and papa amarga (*Solanum juzepczukii* Buk.) to drought on the Bolivian Altiplano: Significance of local adaptation. *Agriculture, ecosystems & environment* 68:1, 99-108.
- Vacher JJ, E Imaña y E Canqui (1994). Las características radiativas y la evapotranspiración potencial en el altiplano boliviano. *Revista de Agricultura* (Bolivia) 32: 4-14.
- Verelst W, E Bertolini, S De Bodt, K Vandepoele, M Demeulenaere, ME Pè y D Inzé (2013). Molecular and physiological analysis of growth-limiting drought stress in *Brachypodium distachyon* leaves. *Molecular Plant* 6: 311–322.
- Walk T, R Jaramillo y J Lynch (2006). Architectural tradeoffs between adventitious and basal roots for phosphorus acquisition. *Plant and Soil* 279: 347-366.
- Wilkinson S y WJ Davies (2010). Drought, ozone, ABA and ethylene: new insights from cell to plant to community. *Plant Cell & Environment* 33: 510–525.
- Winkel T, M Méthy y F Thénot (2002). Radiation-use efficiency, chlorophyll fluorescence and reflectance indices, associated with ontogenic changes in water-limited *Chenopodium quinoa* leaves. *Photosynthetica* 40: 227-232.
- Winkel T, JP Lhomme, JPN Laura, CM Alcon, C Del Castillo & A Rocheteau (2009). Assessing the protective effect of vertically heterogeneous canopies against radiative frost: the case of quinoa on the Andean Altiplano. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1759-1768.

## CAPITULO: 2.5

# TÍTULO: MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA QUINUA Y EL DESARROLLO DE VARIEDADES MODERNAS

\*Autor para correspondencia: ALEJANDRO BONIFACIO < [a.bonifacio@proinpa.org](mailto:a.bonifacio@proinpa.org) >

**Autores:** BONIFACIO ALEJANDRO<sup>a</sup>, GOMEZ-PANDO LUZ<sup>b</sup>, y ROJAS WILFREDO<sup>a</sup>,

<sup>a</sup> Fundación PROINPA; Américo Vespucio 538, Piso 3, La Paz, Bolivia. ;

<sup>b</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina S/N, La Molina, Lima-Perú

## Resumen

El mejoramiento genético de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) puede lograrse empleando diversos métodos desde los convencionales como la selección masal, individual, hibridaciones o cruzamientos (intra e intervarietales), la inducción de mutaciones; los cuales pueden ser combinados con las herramientas biotecnológicas modernas. El objetivo fundamental es el desarrollo de variedades sobresalientes que combinen alto potencial de rendimiento, tolerancia y/o resistencia a factores bióticos y abióticos, adaptación a diversas regiones agro-climáticas y con la calidad adecuada del grano para la alimentación e industria. Otros objetivos adicionales surgen recientemente, por el incremento de su popularidad y la expansión de su área de cultivo, como son, entre otros, cambios en su morfología y fisiología que favorezcan las cosechas mecanizadas y mejoren su tolerancia a las sales, al calor y una respuesta adecuada al empleo de mayor cantidad de insumos agrícolas. El empleo de los métodos de mejoramiento ha permitido el desarrollo de variedades valiosas en países como Bolivia, Perú, Ecuador, Chile, Dinamarca, Estados Unidos y otros. Considerando la amplia variabilidad genética que se dispone en los centros de origen y diversidad, el trabajar con el mejoramiento de manera continua y su introducción a otros países

puede convertir a la quinua en el nuevo cultivo básico para la humanidad, especialmente en aquellos países donde la población no tiene acceso a fuentes de proteína, o donde tienen limitaciones en la producción de alimentos. De esta forma se puede ampliar la base alimentaria actual que depende de pocas especies como el trigo, maíz, arroz, papa, soya y otros y también a reducir los problemas de desnutrición, considerando el alto valor nutritivo de la quinua y así de esta forma enfrentar los problemas que van surgiendo por el cambio climático.

## Introducción.

El mejoramiento genético de la quinua empezó hace miles de años cuando los hombres y mujeres empezaron la selección de semillas y plantas, modelando el fenotipo y el genotipo en diferentes áreas de la región Andina. Existen evidencias de la presencia de granos de especies silvestres y cultivadas del Género *Chenopodium* en Ayacucho—Sierra Central del Perú con una antigüedad 5000 a.C.; en el Complejo Chinchorro en Chile con una antigüedad de 3000 a.C.; en tumbas indígenas de Tarapacá, Calama, Calchaquí-Diaguita, Tiltit y Quiligua en Chile; en el sitio arqueológico de Punta de la Peña 4, capa 3, en la localidad de Antofagasta de la Sierra, Catamarca, Argentina con una antigüedad ca. 760-560 a.p., (Uhle 1919; Bollaert

1860; Latchman 1936; Nuñez 1970; Tapia *et al.* 1979; Rodríguez *et al.* 2006; Lumbreras *et al.* 2008). Las semillas permiten ver el mejoramiento de las características de las plantas hechas por selección natural o humana; en el grupo de los *Chenopodios*, radica en la presencia de cáscaras más delgadas y márgenes truncados que reflejan una respuesta adaptativa a la selección humana, la que buscó reducir dormancia y viabilidad de las semillas (Smith 1992; Murray, 2005). Otro carácter importante fue la selección por granos de color blanco, lo que se evidencia por la disminución de la proporción de semillas de color negro en las diferentes muestras encontradas a lo largo del tiempo (Tapia *et al.* 1979). Finalmente los *Chenopodios* domesticados se caracterizan por presentar inflorescencias más compactas, ausencia de sistemas de dispersión de semillas, maduración uniforme de frutos, reducción del periodo de dormancia para la germinación y mayor tolerancia al desgrane (Smith 1984; Gremillion 1993a; Bruno 2001)

Este proceso de selección natural y humana acontecido durante miles de años, paralelo al efecto de los procesos evolutivos naturales por mutaciones e hibridaciones intra e interespecíficas, dio origen a poblaciones complejas con una alta diversidad genética, en una región como la Andina, con incontables microclimas muy diversos con amplios rangos de humedad (muy secos a muy húmedos), temperaturas (muy frías a muy calurosos), altitudes (nivel del mar a 4000 msnm), latitudes (aproximadamente de 4° LN a 40° LS), diferentes tipos de suelos y otras variantes relacionadas con las formas de utilización. La quinua junto con el maíz y la papa probablemente fueron los alimentos básicos de los habitantes de la región Andina hasta la venida de los conquistadores españoles alrededor de 1534 d.C., la quinua y otros cultivos andinos pierden ese rol porque fueron reemplazados con cultivos como el trigo, cebada, avena, habas y arvejas, introducidos por los españoles como parte de su dieta alimentaria. Aproximadamente por más de 500 años, la quinua, fue un cultivo sub utilizado, desconocido para el mundo exterior a la región Andina y sembrado para autoconsumo por los agricultores, principalmente en el Altiplano Peruano-Boliviano; quienes bajo sus sistemas tradicionales de cultivo conservaron la amplia variabilidad de la quinua, que de otra forma

se hubiera perdido irremediablemente (Cusack 1984; National Research Council 1989; Mujica 1992; Jacobsen y Stolen 1993).

El proceso de revaloración de la quinua iniciada en la década de 1960s ha permitido dar a conocer su alto valor nutritivo y su capacidad de prosperar en condiciones marginales, lo que ha despertado interés a nivel mundial y una creciente demanda por la quinua requiriéndose de una mayor producción para satisfacerla. Existen diversas formas de incrementar la producción y una de las más importantes es desarrollar nuevas variedades adaptadas a los requerimientos actuales.

El mejoramiento genético de la quinua se inició en la década de los 1960s en Bolivia en la Estación Experimental de Patacamaya – Bolivia financiado por FAO-OXFAM (Oxford Famine Relief) y el Gobierno Boliviano y en el Perú en la Universidad del Altiplano –Puno (Gandarillas 1979; Tapia *et al.* 1979). Actualmente el mejoramiento de la quinua se realiza en muchos países y en todos los continentes.

### Objetivos del Mejoramiento.

Los objetivos de los programas de mejoramiento genético de la quinua deben considerar los requerimientos del agricultor, de la industria y el consumidor; los cuales varían con el tiempo y la región o país.

En las décadas de los 60 y 70, se dio énfasis al rendimiento, grano grande, libre de saponina, tallo simple o no ramificado-erecto y panoja definida, resistencia a enfermedades, buena calidad culinaria (Gandarillas 1979). En las décadas 80 y 90 se incluyeron los objetivos de precocidad, color de grano negro, grano rojo y resistencia a enfermedades (mildiu). Finalmente en la década 2000 a 2010 se incluyeron la tolerancia al granizo, sequia, calidad industrial y nutritiva y variedades para la cosecha mecanizada. Este último objetivo asociado con el manejo agronómico del cultivo.

En Bolivia, específicamente para el altiplano Sur (zona de producción comercial de exportación de la Quinua Real) se requieren variedades intermedias y muy precoces en ciclo de vida, de granos grandes de color blanco, rojo y negro. Para el altiplano Central se requieren variedades precoces, de mediana resistencia al mildiu, de granos medianos a grandes

(blanco o rojo), tolerantes al granizo y heladas. Para el altiplano Norte se requieren variedades con alta resistencia al mildiu, tolerancia al granizo, granos pequeños, medianos y grandes según el destino de la producción. En la zona de los valles, se prefiere variedades de ciclo semiprecoz a precoz, resistentes al mildiu y granos medianos a grandes. Últimamente surge el interés de producir quinua en Santa Cruz como cultivo de invierno, donde se requieren variedades resistentes a la enfermedad del mildiu y tolerantes al calor junto a características apropiadas para el manejo mecanizado del cultivo.

En Perú, los objetivos del mejoramiento son altos rendimientos, granos de tamaño grande, color blanco y rojo, aunque últimamente la precocidad se constituye un factor de interés puesto que el retraso de las lluvias conducen a siembras tardías por lo que las variedades de ciclo largo tienen limitaciones en completar su ciclo de vida. Además de ello, cobra importancia el mejoramiento de la tolerancia al calor y las sales, la arquitectura de la planta para cosecha mecanizada y agricultura de alta tecnología; considerando que existen grandes posibilidades de sembrar quinua en la costa peruana.

En Ecuador, los objetivos del mejoramiento son el rendimiento, el tamaño de grano grande y color blanco y la resistencia al mildiu. Cabe destacar que en Ecuador, los investigadores han combinado la selección con el manejo agronómico para facilitar la cosecha y trilla mecanizada.

### **Mejoramiento del Rendimiento.**

Incluye el mejoramiento del cultivo per se (morfología y fisiología) y el incremento de la resistencia a estreses de naturaleza biótica y abiótica y las interacciones entre ellas.

#### *Alto Rendimientos.*

Para mejorar la productividad o rendimiento es importante determinar el grado y la naturaleza de la variación genética, la interacción genotipo x ambiente y la heredabilidad. De acuerdo con Bertero *et al.* (2004) la gran variación de ambientes de las regiones donde se cultiva la quinua, requiere que los programas de mejoramiento del cultivo consideren estrategias de evaluación que les permita medir los efectos de una gran interacción de genotipo x ambiente.

Mujica *et al.* (2001) informan valores de rendimiento de 2280 y 3960 kg/ha de genotipos seleccionados en la Prueba Americana y Europea de Quinua, organizada por la FAO en lugares como Italia y Grecia. Bonifacio (2003) indicó que variedades mejoradas obtenidas en la Estación Experimental de Patacamaya – Bolivia rendían a nivel comercial cerca de 1200 kg/ha en el altiplano, aunque alcanzaron rendimientos más altos (3 t/ha) con el uso de alta tecnología y mayor cantidad de insumos. Esto es un aumento significativo considerando el rendimiento de 700 kg/ha, obtenido por los agricultores con variedades tradicionales. Estudios realizados en la Costa Peruana mostraron la posibilidad de obtener rendimientos de 6000 kg/ha en un sistema de fertirrigación (Barnett 2005).

#### *Ciclo de vida.*

La precocidad es un carácter que permite a la variedad a escapar del efecto adverso de heladas y sequías. La precocidad es importante porque permite a las plantas de quinua afrontar el efecto del cambio climático traducido en el retraso considerable del periodo lluvioso. La selección por precocidad es relativamente fácil, puesto que el número de días a la floración tiene una heredabilidad alta igual a 0.82 (Mujica 1988). Sin embargo, la precocidad también presenta límites por la sensibilidad de la planta a los días cortos y la alta nubosidad del periodo lluvioso.

#### *Resistencia / tolerancia a estreses bióticos (enfermedades e insectos).*

Es de suma importancia mejorar en quinua la resistencia y/o tolerancia a factores bióticos considerando que los agricultores de pequeña escala tienen su producción dirigida a un mercado orgánico. El mejoramiento a estreses bióticos debe tomar en cuenta la genética de los organismos y el del cultivo hospedero debido a las complejas interacciones que ocurren entre ellos que pueden ser de naturaleza anatómica, bioquímica o fisiológica.

La resistencia a la enfermedad del mildiu (*Peronospora variabilis*) adquiere importancia debido a: 1) el movimiento de variedades de una zona seca a otra zona de mayor humedad relativa, 2) concentración de lluvias en periodos cortos con alta humedad relativa que es propicia para el mildiu, y 3) alto interés por la quinua en zonas no



tradicionales (valles interandinos e inclusive en la zona subtropical) y su transmisión por semilla.

Por otro lado, el daño de insectos alcanza niveles muy altos, especialmente cuando estos se alimentan de los granos y de la inflorescencia, como es el caso de la kcona - kcona (larvas de polilla). La resistencia puede ser obtenida mediante mecanismos de no-preferencia (no alimentación u ovoposición), antibiosis, y tolerancia. Otro problema no menos importante es el daño de pájaros que se puede reducir con un incremento en el contenido de saponinas.

#### *Tolerancia a estreses abióticos.*

La tolerancia a granizo y heladas son objetivos cada vez más importantes por los efectos del cambio climático y la ampliación de la frontera agrícola de la quinua. El retraso de lluvias conduce a las plantas a ser propensas a heladas en la fase reproductiva. Por otra parte, el granizo que es fenómeno frecuente en la época de cultivo afecta seriamente con riesgos de pérdida en estado de planta (rotura y caída de hojas, lesiones del tallo, daños en la panoja) y grano maduro (desgrane). Por estas razones, en Bolivia se está iniciando el mejoramiento para estos caracteres.

La resistencia a sequía y salinidad son caracteres mucho más complejos en su forma de herencia como también en los mecanismos de resistencia. En los últimos años, se ha conducido investigaciones orientadas a obtener información sobre la forma de acción y expresión de los genes de resistencia, los trabajos que se conducen en Perú, Bolivia e inclusive en laboratorios especializados de genética molecular (BYU) están logrando obtener resultados alentadores para abordar la evaluación y selección por resistencia a sequía (Jacobsen *et al.* 2001; Jacobsen *et al.* 2002; Jacobsen *et al.* 2003; Jacobsen *et al.* 2005; Jacobsen *et al.* 2007; Gómez *et al.* 2010; Ruiz- Carrasco 2011; Verena *et al.* 2013)

#### *Morfología- arquitectura de la Planta.*

La ampliación de la superficie de cultivo y la escasez de mano de obra rural determina la urgencia de reemplazar y/o complementar los sistemas de cosecha tradicional con cosechas mecanizadas. Las pruebas de cosecha mecanizada en la quinua han tenido grandes dificultades en las condiciones actuales de manejo de cultivo y los tipos de

variedades empleadas. Aprovechando la amplia variación inter e intrapoblacional, se requiere modificar la arquitectura de las plantas eliminando los hábitos de ramificación y considerar desarrollar variedades con altura apropiada, un único tallo con una sola inflorescencia de tipo terminal.

#### *Índice de Cosecha.*

Esta característica mide la capacidad fotosintética y la efectiva translocación de fotosintatos a las semillas, siendo influenciada por prácticas culturales y el medio ambiente (Bertero & Ruiz 2010). Producto de evaluaciones del germoplasma de quinua de Bolivia se determinaron variaciones de 0.06 a 0.87 de índice de cosecha; perteneciendo los valores más bajos a las quinuas del ecotipo valle que se caracterizan por su gran altura y ramificación (Rojas *et al.*, 2003).

#### **Mejoramiento de la Calidad.**

##### *Tamaño de grano.*

Las quinuas de granos grandes y de color blanco o al menos blanco después del beneficiado son tradicionalmente preferidas en el mercado, cuando el producto se comercializa como grano perlado (beneficiado o lavado), debido a su uso similar al del arroz. Las quinuas de granos pequeños generalmente se destinan a la producción de hojuelas, harinas y otros. Un aspecto importante a mejorar es la uniformidad de tamaño del grano en la panoja, actualmente en la misma panoja se encuentran hasta tres tamaños de granos variando la proporción de ellos en los diferentes genotipos; debido a la relación con la proporción de flores hermafroditas (más grandes) y flores pistiladas (más pequeñas) en la panoja (Rea 1969; Bhargava *et al.* 2007).

La quinua real boliviana que es de grano grande y muy apreciada en el mercado de exportación, ha sido seleccionada y cultivado por milenios en el altiplano Sur de Bolivia, en cambio, las variedades locales del altiplano Norte son de grano pequeño. Las variedades nativas o ecotipos de quinua real fueron empleadas en cruzamientos para incorporar el carácter de grano grande mediante hibridación y posterior selección obteniéndose variedades mejoradas de grano grande que pueden cultivar en el altiplano Central y norte de Bolivia (IBTA-DNS,

1996; Bonifacio *et al.*, 2002; Bonifacio y Vargas, 2005)

#### *Contenido de Saponina.*

Otro componente de la calidad de grano es la presencia de saponina. La saponina que se encuentra en el pericarpio del grano (capa externa) le da el sabor amargo al grano. Este compuesto debe ser necesariamente removido antes de preparar la quinua para el consumo. Actualmente, se encuentra desarrollada e implementada la tecnología de beneficiado de grano amargo y el mercado no restringe el producto por este carácter, aunque el proceso de eliminación implica mayores costos y principalmente el empleo de cantidades considerables de agua que podría ser una limitante en las próximas décadas. Sin embargo, la saponina es un detergente natural y un espumante orgánico que puede ser aprovechado en la industria de detergentes y otros productos. Por lo tanto, en el proceso de beneficiado actualmente se están incluyendo tecnologías para recuperación y concentración de la saponina.

En el germoplasma de quinua existen quinuas con diferentes contenidos de saponina desde aquellas dulces (exentas de saponina) hasta aquellas muy amargas. En algunas zonas probablemente se requiera el desarrollo de quinuas muy amargas como un factor de defensa natural contra algunas especies de pájaros. La situación no es similar para las plagas, las qhuna-qhuna (larvas de polilla) y tikuna (larvas de mariposas nocturnas) atacan tanto a variedades amargas como a variedades dulces.

La obtención de variedades de quinua dulce y grano grande fue posible mediante el cruzamiento de variedades nativas del altiplano Norte por las del Sur y posterior selección, siendo la variedad Sajama la primera variedad dulce para el altiplano Central, posteriormente se ha liberado una serie de variedades que reúnen el carácter dulce, grano grande e inclusive resistencia al mildiu (Gandarillas, 1979 a; IBTA/DNS, 1996; Bonifacio *et al.*, 2003; Bonifacio y Vargas, 2005).

#### *Contenido de Proteína del Grano.*

El mejoramiento para mayor contenido de proteínas, aminoácidos u otros del grano es un factor importante de mejoramiento. El rango de contenido de proteína en quinua varía de 7 a 24%

(Koziol 1992; Wright *et al.* 2002; Repo-Carrasco *et al.* 2003; Bhargava 2007; Gómez & Eguiluz 2011). Los altos contenidos de proteína generalmente resultan de una acumulación baja de carbohidratos por lo tanto el incremento de rendimiento está asociado con un contenido bajo de proteína. Sin embargo, Bhargava (2007) informó de una correlación directa y de baja significación entre rendimiento y proteína del grano en unos estudios realizados con quinuas de diferente origen y señala que estos resultados podrían ayudar al desarrollo de variedades con buen potencial de rendimiento y alto contenido de proteína del grano.

#### *Otros principios nutritivos y nutraceuticos.*

En estudios recientes se ha determinado la existencia de fibras dietéticas en quinua y su efecto benéfico en la salud humana y existen posibilidades de iniciar trabajos de mejoramiento en estos factores. Se ha determinado que el contenido de fibra en el grano puede variar entre 3.5 a 9.7% (Rojas *et al.* 2010a).

En Bolivia varias empresas desde hace más de una década han iniciado la transformación de productos y derivados a base de quinua y en los últimos años la diversidad y presentaciones de productos transformados se ha incrementado en forma notable. Sin embargo, estos productos transformados se elaboran con una mezcla de granos de diferentes variedades por lo que la calidad del producto no se mantiene entre una elaboración y otra. Esto motivó a considerar en el programa de mejora nuevos caracteres como: almidón, amilosa, amilopectina, diámetro de gránulo de almidón, azúcares reductores, agua de empaste y otros; y lograr de este modo variedades modernas para atender las demandas específicas de la industria del procesamiento.

#### **Heredabilidad de caracteres e índice de selección.**

El conocimiento de la herencia de los caracteres seleccionados como objetivos en el programa de mejoramiento es de gran utilidad para determinar los métodos de mejoramiento más apropiados y su priorización.

Espíndola (1980), señala que el rendimiento está altamente asociado con el diámetro de grano, longitud de panoja, altura de planta y diámetro de

tallo. Espíndola & Gandarillas (1985), estudiaron los componentes del rendimiento en 36 accesiones del Banco de Germoplasma, encontrando que la altura de planta, longitud de panoja y diámetro de tallo están asociados positivamente y con alta significación, además encontraron una fuerte asociación entre la altura de planta con el diámetro de tallo y longitud de panoja. Espíndola (1988) estudio la heredabilidad en sentido amplio de 11 caracteres, calculando los porcentajes de heredabilidad entre 22.4 y 59.11%.

Mujica (1988), estudió 32 variables en quinua lo que le permitió identificar siete caracteres con mayor valor de heredabilidad y positivamente correlacionados con el rendimiento. Estas variables son días a floración, altura de planta, diámetro de tallo, diámetro de panoja, diámetro del glomérulo central, peso seco del glomérulo central y número de semillas del glomérulo central. Además señaló que la variable días a la floración es la que presenta la heredabilidad más alta entre los caracteres estudiados, siendo esta de 0.82 y el de menor heredabilidad el rendimiento, lo cual significa que la selección directa por el mayor rendimiento no será muy eficiente, sin embargo, las variables altura de planta, diámetro de tallo y diámetro de panoja tienen mayor heredabilidad y la selección por estos caracteres serán mucho más eficientes. Estas observaciones permitieron determinar una serie de índices de selección en la quinua.

Estos estudios y otros similares permiten contar con información sobre la herencia de caracteres cualitativos y cuantitativos tales como color de la planta, pigmentación axilar del tallo, tipos de inflorescencia, contenido de saponina, color y tipo de semillas, esterilidad masculina genética y citoplasmática, precocidad, altura de plantas entre otros caracteres (Gandarillas 1968; 1974; 1979a, b; 1986; Rea 1969; Espíndola 1980; Bonifacio 1990; 1995; Saravia 1990; Ward 2000).

### **Estabilidad de caracteres.**

Los caracteres cuantitativos como el rendimiento, altura de planta, longitud y diámetro de panoja, diámetro de tallo, peso fresco y seco de planta, índice de cosecha, peso volumétrico, tamaño de grano, peso de 1000 semillas, contenido de proteínas, etc., son de herencia cuantitativa y de gran importancia

económica y nutritiva. Estos caracteres están controlados por varios genes de efecto pequeño y aditivo. Son altamente influenciados por el medio ambiente. Muy poco estudios se han realizado en quinua sobre la estabilidad de estos caracteres, sin embargo, al igual que en cualquier cultivo el mejoramiento de estos caracteres es más difícil.

Los caracteres cualitativos por naturaleza son menos influenciados por el medio ambiente, entre estos caracteres hay algunos de importancia como el contenido de saponina y el color de grano relacionados con la calidad. Su mejoramiento es más fácil.

El carácter que ha mostrado un porcentaje no cuantificado de inestabilidad es el color de grano, especialmente el color blanco que muta frecuentemente hacia colores oscuros y en algunos casos inclusive influye a otros caracteres. Bonifacio (1995 y 1996), atribuye a la variación espontánea, a la acción de elementos genéticos móviles y últimamente a la paramutación como responsable de la inestabilidad genética de caracteres simples. Esta forma de segregación, inicialmente fue atribuido al cruzamiento entre especies cultivadas y sus parientes silvestres (ajara), sin embargo, las recientes observaciones cuidadosas reflejan que se trata de un fenómeno de segregación natural presente en la quinua como un mecanismo de adaptación frente a agentes estresantes. Gómez & Eguiluz (2013) mencionan el frecuente cambio de color de los granos en trabajos realizados en quinua empleando agentes mutagénicos como los rayos gamma.

### **Principios biológicos y genéticos para el mejoramiento del cultivo.**

#### **Biología Reproductiva.**

Uno de los primeros aspectos a considerar para la selección de los métodos de mejoramiento y el tipo de variedad a mejorar es el conocimiento del sistema reproductivo del cultivo. La quinua se reproduce por la vía sexual. La reproducción sexual es un proceso biológico que implica la meiosis y la fecundación conducen a la generación de la variabilidad genética, la misma que es aprovechada en el mejoramiento genético de los cultivos. La propagación vegetativa *in vitro* de quinua fue informada por Ruiz (2002).

### *Polimorfismo floral.*

La quinua se considera principalmente una especie ginomonoica. En su inflorescencia se identifican flores hermafroditas (flor perfecta) y flores pistiladas o sólo con gineceo (flores imperfectas); en diferentes proporciones y tamaños (Simmonds 1965; Rea 1969, Gandarillas 1979). De igual modo se informa la presencia de flores andro estériles o flores perfectas con polen no funcional (Gandarillas 1979, Saravia 1990; Ward & Johnson 1992). Lescano (1994), reporta resultados similares sobre la biología reproductiva y una posible protandria.

### *Tipo de polinización.*

Según Simmonds (1965), la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) la qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y Huauzontle (*Chenopodium nuttalliae* Safford) son especies autógamas, afirmación similar ha sido reportada por Gandarillas (1979) y Wilson (1988).

El porcentaje de polinización cruzada o alogamia informada es variable. Gandarillas (1976), reporta porcentajes variables de cruzamiento natural que van de 1.5% para una distancia de separación de 20 m hasta 9.9% a 1 m de separación de plantas. Lescano (1994) reportó 5.78% de alogamia y 94.22% de autogamia. Según los resultados encontrados en la zona de origen de la quinua, el porcentaje de alogamia no sobrepasa el 10% de cruzamiento natural y por tanto, la quinua tiene al menos un 90% de autogamia, siendo más o menos similar al grado de autogamia presente en el arroz y sorgo (House, 1982 y Jennings *et al.* 1981). Según la investigación de Silvestri y Gil (2000), conducidos en Mendoza, Argentina, se señala un 17.36% de alogamia, este resultado duplica lo reportado por Gandarillas, sin embargo, la información fue generada en condiciones ambientales distintas a las condiciones naturales de adaptación de la especie.

Por tanto, en el mejoramiento genético de la quinua se recomiendan preferentemente los métodos empleados para autógamias.

### *Androesterilidad.*

En quinua se informa la existencia de esterilidad masculina genética y genético-citoplásmico y se explica la forma de herencia (Saravia, 1991). Ward & Johnson (1993) reportaron vigor híbrido en progenies de cruza de quinua empleando la

androesterilidad; lo cual abre amplias posibilidades para el desarrollo de híbridos comerciales de quinua en forma similar al del arroz y sorgo. Experiencias en Bolivia, mostraron cierto grado de heterosis en cruza intervarietales y más aún en híbridos interespecíficos. Sin embargo en estos últimos, su uso estaría limitado por problemas de infertilidad de los híbridos. El empleo de esterilidad masculina en el mejoramiento de la quinua abre posibilidades interesantes, para ello es importante la identificación de líneas con mejor aptitud combinatoria específica.

### *Poliploidía en la quinua.*

La poliploidía es un factor importante a considerar en el mejoramiento genético debido a su influencia en el grado de compatibilidad reproductiva, fertilidad y la expresión de los caracteres fenotípicos y el grado de variabilidad.

El número de cromosomas de la quinua cultivada (*Chenopodium quinoa* Willd.) es  $2n=4x = 36$  cromosomas (Cárdenas & Hawkes 1948, Gandarillas & Luizaga 1967 y Gandarillas 1986). Gandarillas (1979), sostiene que la quinua tiene 36 cromosomas somáticos constituidos por cuatro juegos de  $x = 9$  cromosomas que es el número básico para el género *Chenopodium*, lo que significa que la quinua es un alotetraploide. Los estudios de Simmonds (1971) y Gandarillas (1986), muestran evidencias sobre la condición alotetraploide de la quinua donde participarían dos genomas de especies diploides dando lugar a un híbrido inter específico estéril, el cual sufrió una posterior duplicación del número de cromosomas dando origen a un alotetraploide autofértil.

Con respecto a la herencia genética (cromosómica), la quinua tiene un comportamiento hereditario del tipo disómico (Simmonds 1971). Esta forma de herencia está implícita, al menos para caracteres cualitativos, en varios trabajos de Gandarillas (1968, 1971 y 1979), Saravia (1990), Bonifacio (1990 y 1991) y Silvestri & Gil (2000), quienes han observado la segregación de caracteres en  $F_2$  concordantes con las proporciones clásicas de 3:1 y 9:3:3:1 correspondientes a uno y dos genes respectivamente.

### **Recursos Genéticos.**

El mejoramiento genético de quinua requiere en



primer lugar contar con colecciones de germoplasma del cual seleccionar el material genético a emplear en los diferentes métodos de mejoramiento. El germoplasma de quinua y sus parientes silvestres son preservados mayormente en bancos *ex situ* en Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, Argentina, Colombia, Estados Unidos y otros países del mundo (Mujica 1992; Bonifacio *et al.* 2004; Fuentes *et al.* 2006; Christensen *et al.* 2007; Bravo & Catacora 2010; Rojas *et al.* 2010b; Gómez & Eguiluz 2011).

Tanto Bolivia como Perú, en términos de número de accesiones, tienen las colecciones de germoplasma de quinua más representativas de la región Andina y a nivel mundial. El 100% de la colección boliviana de quinua ha sido caracterizada y evaluada por caracteres morfológicos y agronómicos, 17% por su valor nutricional, 8% por características agroindustriales y 86% desde el punto de vista molecular (Rojas *et al.* 2010b; Rojas y Pinto 2013). En Perú, en forma similar 100% de la colección de quinua de la Universidad Nacional Agraria La Molina, conformada por 2089 accesiones han sido evaluadas en aspectos morfológicos y agronómicos y 43% por caracteres de calidad como contenido de proteína, saponina y tamaño de grano (Gómez & Eguiluz 2011).

Respecto a la conservación *in situ*, a lo largo de la región Andina existen muchos nichos especiales y zonas agroecológicas con características propias que ha permitido el desarrollo de la mayor diversidad genética de quinua tanto silvestre como cultivada y que todavía se pueden encontrar en condiciones naturales y en campos de cultivo de los agricultores andinos. En Bolivia es posible encontrar ecotipos del altiplano, salares, valles interandinos y yungas, mientras que en Perú ecotipos del altiplano y valles interandinos. Es en estas zonas agroecológicas donde principalmente se conserva la quinua en sistemas tradicionales de cultivo, a través de siembras y cosechas continuas en los agroecosistemas conocidos como *aynokas*, *sayañas*, *huyus* y *jochiirana* (Ichuta & Artiaga 1986; Rojas *et al.* 2010b).

Los estudios realizados con las colecciones de quinua de Ecuador y la Argentina mostraron menor diversidad, indicando que el material ecuatoriano posiblemente fue originalmente introducido de Perú y Bolivia, mientras que la introducción original

de quinua a la Argentina, aparentemente fue a partir de las zona andina y la zona costera (sur) de Chile (Christensen *et al.* 2007). La otra razón de esta baja diversidad podría ser por la deriva genética y por el abandono del cultivo o el aislamiento de las comunidades.

La quinua chilena es dividida en dos grupos, los ecotipos del altiplano y los ecotipos de costa. Fue cultivada principalmente por las poblaciones Aymara en el altiplano norte de Chile y se considera morfológicamente diversa por procesos de selección natural y humana, y deriva genética siendo introducida a la zona Central y Sur de Chile. Bhargava (2007) en la evaluación de líneas de quinua en la zona subtropical norte de la India, informó que las líneas chilenas mostraban mayor adaptación a países con climas como la India que se caracteriza por inviernos fríos y veranos calurosos.

Estos trabajos de investigación y otros de esta naturaleza han permitido conocer en forma preliminar el grado de variación y las fuentes de genes para muchas características facilitando el trabajo de mejoramiento genético. Algunos de estos trabajos también han permitido en el Perú formar Colecciones Núcleo (*Core Collection*) que simplifican y mejoran el manejo y uso de los recursos genéticos de la quinua (Ortiz *et al.* 1998). En Bolivia también se implementó la colección núcleo de quinua y está conformada por 267 accesiones (Rojas 2010), sin duda esto ha facilitado los trabajos del programa de mejoramiento para la selección de materiales con tolerancia a factores abióticos.

### Métodos de Mejoramiento Genético.

Las más de cien variedades comerciales que existen en la Región Andina se han desarrollado a través de diversos métodos de mejoramiento basados en la selección e hibridación. Durante este proceso hubo un movimiento importante de variedades, ecotipos y germoplasma.

#### Introducción.

Consiste en la introducción de especies, variedades o germoplasma desarrollados en una zona a otra. El éxito depende del grado de adaptación del material genético al nuevo ambiente y su aceptación por los agricultores y usuarios finales.

En los Andes, la introducción de variedades originarias del Altiplano Sur de Bolivia, ecotipo Real, a las condiciones del Altiplano Norte no han tenido mayor éxito, debido a la alta susceptibilidad al mildiu de las variedades de la raza Real. Otras variedades bolivianas obtenidas en la Estación Experimental de Patacamaya (Altiplano Central), introducidas al altiplano peruano por instituciones de investigación y agricultores particulares, han mostrado resultados positivos y actualmente se cultivan en forma comercial y con buena aceptación, entre ellas las variedades Sajama, Kamiri, Chucapaca y Huaranga. De esta última se ha derivado la variedad Salcedo INIA.

Con el reconocimiento del valor nutritivo y agronómico de la quinua, se ha incrementado el movimiento de germoplasma a nivel mundial. Entre las primeras introducciones a otros continentes destaca la realizada por Risi (1986), quien introdujo y estudió la adaptación de aproximadamente 300 accesiones de quinua proveniente de Bolivia, Perú y Chile en condiciones de Inglaterra. Posteriormente se amplía la introducción de material genético a otros países en la zona andina y en ultramar a través de las pruebas regionales de quinua o Prueba Americana y Europea de Quinua, liderados por la FAO (FAO/RLAC/UNA, 1998). Los resultados preliminares de esta prueba mostraron que las accesiones de los ecotipos de los Valles Interandinos del Perú y Ecuador tenían una buena tolerancia al mildiu y que el material Boliviano mostraba alta susceptibilidad a la misma enfermedad. Por otro lado, que las accesiones de costa eran muy precoces pero muy susceptibles a las granizadas en condiciones de la sierra (Mujica *et al.* 2001). Bhargava (2007) informó de la adaptación de algunas accesiones de quinua a la zona sub tropical norte de la India, donde se estudiaron 27 líneas de *Chenopodium quinoa* y dos líneas de *C. berlandieri* subsp. *nuttalliae* en un periodo de dos años.

Actualmente la introducción de material genético de una región a otra debe considerar el cumplimiento de las normas de acceso y la distribución equitativa de los beneficios generados del uso del material o la observancia a los derechos de obtentores de variedades según normas vigentes. A nivel de la Comunidad Andina de Naciones (CAN) se cuenta con la Decisión 391 como un Régimen Común sobre Acceso a los Recursos Genéticos y que tiene su

origen jurídico en la Decisión 345 como un Régimen Común de Protección a los Derechos de los Obtentores de Variedades Vegetales, sin embargo no ha tenido una aplicación como se esperaba debido a varios factores.

### Selección.

Es uno de los primeros métodos de mejoramiento empleados en quinua, utilizando la variabilidad genética desarrollada a lo largo de la región Andina por miles de años, por fuerzas naturales como las mutaciones, recombinaciones intra e interespecíficas y la selección natural y la humana. La selección consiste en la modificación de la frecuencia de alelos en las poblaciones vegetales y/o variedades.

#### Selección Masal.

La selección masal se basa en la identificación de fenotipos sobresalientes y su cosecha en una mezcla masal posterior. Este método debe aplicarse en el mejoramiento de caracteres de alta heredabilidad. En quinua se informa de las siguientes modalidades de selección masal aplicadas.

#### Selección Masal Simple.

La selección masal simple consiste en seleccionar 100 a 200 plantas sobresalientes o más (en función a los criterios que define el mejorador), las cuales se cosechan juntas y luego se siembran y se evalúan comparándolas con el material original del cual fueron seleccionadas para determinar el nivel de mejora. Este proceso puede repetirse por dos o tres ciclos de selección o el tiempo que defina el mejorador. El resultado es una nueva población mejorada, heterogénea, compuesta de genotipos con alto nivel de homocigosis, que sigue conservando la adaptación a la zona de cultivo, con variabilidad genética para enfrentar diversos estreses de clima, suelo y otros, y por otro lado con caracteres agro-morfológicos homogéneos (altura de planta, ciclo de vida y principalmente color de grano) que permitan un fácil manejo por el agricultor.

Es un método sencillo, de bajo costo y rápido. Actualmente también se aplica para uniformizar variedades comerciales en función a sus características agro-morfológicas. Este tipo de

mejoramiento basado en una selección fenotípica requiere de un buen conocimiento del cultivo y de la variedad. Las variedades desarrolladas con este método no se pueden emplear en un proceso de producción de semilla certificada y se recomienda para zonas marginales. La producción de semilla debe ser permanentemente monitoreada por los obtentores para mantener la proporción adecuada de fenotipos y mantener la estabilidad del rendimiento que caracteriza estas variedades.

#### *Selección Masal Estratificada.*

Es una modificación de la selección masal para mejorar la identificación de plantas superiores y disminuir el efecto de la variación del medio ambiente en el proceso de selección. Normalmente en la localidad de selección existen variantes o gradientes en la textura, fertilidad, humedad o profundidad del suelo, que determinan variaciones fuertes en el fenotipo de las plantas. La estratificación consiste en sembrar las plantas de la población original en forma equidistante y establecer bloques o cuadrículas en el campo experimental, según la variación del factor ambiental, dejando el similar número de plantas por cuadrícula. La selección se realiza en cada bloque o cuadrícula tomado igual número de plantas o proporcional al total previsto.

Se seleccionan de 100 a 200 plantas sobresaliente por uno o dos criterios de selección establecidos por el programa de mejora, se cosecha cada planta por separado, se selecciona por el segundo criterio si fuera el caso (tamaño de grano o presencia de saponina) y se conserva cada una previa identificación en bolsas individuales.

Las semillas de las mejores plantas obtenidas se mezclan para ampliar la base genética de la futura variedad, se requiere uniformizar las líneas que conformaran las mezclas por caracteres agronómicos que faciliten las labores culturales al agricultor y caracteres de calidad para el uso final del producto. Este método es mucho más eficiente pero es más costoso en mano de obra y materiales requeridos. Sin embargo permite el control de la calidad genética de las plantas y el medio ambiente. La selección masal estratificada se aplicó en la producción de semilla certificada de las variedades de la Raza Real en el altiplano Sur de Bolivia

Las variedades más importantes obtenidas por

selección masal son: Real (Bolivia), Baer (Chile), Dulce de Quitopamba (Colombia), Pasankalla, Chewecca, Blanca de Juli, Amarilla de Marangani, Blanca de Junín, Rosada de Junin, Blanca de Hualhuas (Perú), entre otras.

#### *Selección Individual.*

Las variedades nativas de quinua, considerando el nivel de autogamia cercano al 90%, son poblaciones heterogéneas, donde cada genotipo es en mayor grado homocigoto. Generalmente en estas poblaciones originales se pueden encontrar plantas que destacan por su vigor, tolerancia a las enfermedades, precocidad, resistencia a las temperaturas bajas y sequías, etc., y que pueden ser seleccionadas en forma individual.

Las semillas de estas plantas individuales se siembran en surcos o parcelas separadas, manteniendo la pureza de cada progenie y son consideradas como líneas puras. La evaluación y selección según el rendimiento y otras características debe realizarse en diferentes localidades y años, empleando métodos estadísticos apropiados. Posteriormente se multiplican las semillas de la o las líneas sobresalientes y se pueden inscribir como nuevas variedades mejoradas.

Una modificación de la selección individual, aplicada en quinua por Gandarillas (1979) es la llamada "Selección panoja-surco". El método consiste en identificar las plantas tipo en fase vegetativa en una cantidad aproximada a 200, en fase reproductiva se auto fecundan las plantas, se cosechan las plantas auto fecundadas, se selecciona por un segundo criterio si es el caso (saponina), se trilla individualmente, se asigna un número de registro y la semilla se conserva en bolsas individuales. Se siembra las unidades según número asignado en surcos individuales, se repite la selección entre y dentro surcos. El procedimiento se puede repetir por dos o tres ciclos hasta lograr la homogeneidad del material. Este método de selección permite hacer el seguimiento de plantas madre y sus progenies y se puede recuperar el material en caso de pérdida de progenies recurriendo a la planta madre que conserva la semilla remanente. Desde ya, el método es más costoso en materiales y mano de obra, pero es más eficiente en lograr los criterios de selección establecidos.

Para la autofecundación de la quinua es necesario seguir los siguientes pasos: 1) la preparación que consiste en la eliminación de algunas hojas y glomérulos axilares en la base de la panoja, 2) aislamiento de la panoja o grupo de glomérulos previamente preparados, para ello se emplea bolsas de papel de tamaño compatible (15 x 25 cm o 10 x 15 cm) y 3) revisión semanal de plantas por posibles infestaciones de plagas y enfermedades. En la autofecundación de una panoja entera, se sugiere el tutorado consistente en una varilla para evitar el acame y en caso de autofecundación de grupo de glomérulos se incluye unas tres hojas para mantener la humedad interior del sobre. Los materiales comúnmente utilizados para la autofecundación son los sobres de papel glassine de 10 por 15 cm y 15 x 25 cm, marbetes de 4 x 6 cm y 6 x 10 cm, tijera pequeña de punta fina, y clips de 32 mm.

La variedad obtenida por selección individual se caracteriza por su pureza genética y por que puede entrar a un sistema de certificación de semillas. La producción de semillas debe realizarse en forma aislada o manteniendo las distancias adecuadas para evitar contaminación con polen de otras variedades. Este método de la selección individual es eficaz tanto para la obtención de nuevas variedades de las poblaciones locales o naturales, como para el mantenimiento de la pureza de la identidad varietal de las variedades ya creadas. La variedad Sajama Amarantiforme, conocida también como 'Samaranti' fue un cultivar obtenido mediante la aplicación de este método.

### **Hibridación.**

Es otro método de mejoramiento de importancia que tiene como objetivo fundamental recombinar caracteres favorables presentes en diferentes genotipos en un solo genotipo, en forma muy rápida y también generar nueva variabilidad genética. Este método de mejoramiento ha sido empleado en quinua (Rea 1948; Gandarillas 1967 y 1979; Lescano & Palomino 1976; Bonifacio 1990 y 1995) y en general considera los pasos que se describen a continuación.

#### *Determinación de los objetivos.*

La hibridación implica la definición previa de las prioridades en el programa de mejoramiento genético de la quinua. Según Gandarillas (1979), el

método de hibridación ofrece buenas perspectivas para lograr objetivos como rendimiento, tamaño de grano, resistencia a enfermedades y otros caracteres importantes relacionados con el mejoramiento de la calidad nutritiva.

#### *Selección de progenitores.*

Los progenitores deben ser seleccionados en función de los objetivos priorizados en el programa de mejoramiento, considerando que la hibridación es un método de mejoramiento dirigido. Generalmente se considera la mejora de varias características simultáneamente. Los progenitores son seleccionados del germoplasma disponible, el cual debe estar previamente caracterizado para que la identificación de las fuentes de genes favorables sea mucho más fácil y segura.

Los progenitores pueden ser seleccionados entre plantas de diferentes variedades, ecotipos, accesiones y líneas avanzadas de la especie *Chenopodium quinoa* para cruzas intra específica. También se pueden seleccionar plantas de variedades de otras especies para las cruzas inter específicas e inclusive se puede realizar cruzamiento inter genéricos dependiendo de los objetivos y de la disponibilidad de fuentes de genes en otras categorías del acervo genético de la quinua. Se informa el empleo de especies del género *Chenopodium* y *Atriplex* (Bonifacio 1995).

#### *Cruzamientos artificiales.*

La hibridación requiere del conocimiento de la biología reproductiva, de las técnicas apropiadas y materiales o instrumentos. Los materiales utilizados para el cruzamiento son los sobres de papel glassine de 10 x 15 cm, marbetes de 4 x 6 cm, tijera pequeña de punta fina, agujas histológicas o de disección, pinzas punta fina, lente de aumentos tipo frontal, vidrio de reloj, bollos de algodón, pincel pelo de camello números 4 y 6, alcohol 70%, clips de 32 mm, libro y libreta de registros, caja y-o estuche de fitotecnia entre otros materiales.

Se debe contar con un plantel de progenitores seleccionados, los cuales deben ser sembrados considerando el ciclo de vida de los genotipos de tal modo de lograr sincronización en las fases reproductivas para la realización de los cruzamientos. La técnica de cruzamiento consiste en los siguientes pasos: 1) La identificación de



progenitores según los objetivos del mejoramiento, 2) La preparación de la planta madre o progenitor femenino (remoción del ápice de panoja, hojas y flores en antesis), 3) La emasculación consecutiva por 10 a 14 días sin causar lesiones en el gineceo ni roturas en los sacos polínicos, 4) La recolección de polen en la planta padre o progenitor masculino elegido previamente, 5) La polinización mediante varios pases de pincel impregnado con polen sobre las flores emasculadas y con estigmas receptivos de la planta madre, 6) El aislamiento con sobre de papel tipo glassine. Los procedimientos son muy sencillos, pero por las características de la inflorescencia y el tamaño reducido de la flor, el trabajo es muy laborioso y a veces dificultoso.

El cruzamiento sin emasculación es posible realizar en aquellas plantas madres con andro esterilidad parcial o completa o con aquellas que presentan protoginia (Gandarillas 1969 y 1979; Saravia 1991; Ward & Johnson 1992).

Cuando las plantas cruzadas alcanzan la madurez fisiológica, se procede a cosechar individualmente cada planta y se trilla por separado conservando sus registros respectivos.

### **Desarrollo de la Población $F_1$ .**

La Generación  $F_1$  o las semillas obtenidas del cruzamiento artificial de diferentes progenitores, se siembran con mayor distancia que la acostumbrada, entre las plantas y entre los surcos, para un mejor desarrollo de las plantas y una mayor producción de semillas para la siguiente generación ( $F_2$ ). En  $F_1$  es indispensable retirar las plantas no híbridas, resultantes de la autopolinización, para lo cual se pueden emplear marcadores morfológicos o moleculares. En forma práctica, las plantas híbridas mostrarán los marcadores o características dominantes del progenitor masculino y las plantas auto fecundadas mostraran los caracteres recesivos del progenitor femenino. Los marcadores morfológicos, son caracteres cualitativos presentes en las plantas y semillas de fácil observación y altamente heredables, algunos se pueden emplear antes de la floración (Bonifacio 1988), tales como forma, color, tamaño y otros; que finalmente se convierten en "descriptores". Una vez identificada las plantas verdaderamente híbridas, se procede

al etiquetado antes de la antesis. Es importante en este material propiciar la autofecundación ya sea en forma artificial o natural, manteniendo el aislamiento correspondiente. A la madurez fisiológica, se cosechan individualmente y la semilla se conserva en bolsas separadas y registradas adecuadamente. La semilla obtenida de las plantas  $F_1$  (lleva el embrión  $F_2$ ) y de esta forma se genera la población segregante  $F_2$  donde se podrá aplicar diferentes formas de selección.

### *Manejo de la Población segregante.*

El grado de variación genética de la población  $F_2$  desarrollada dependerá del grado de diferencia de los padres, la existencia de series alélicas, el ligamiento y otros factores. La población  $F_2$ , que se obtiene a partir de semillas cosechadas en  $F_1$ , debe ser grande para favorecer la expresión de todos los segregantes posibles y constituye el material base para la selección por pedigree. Gandarillas (1979) sugiere una población inicial de 2000 plantas por cruza.

El manejo posterior de este material es diverso y depende de los objetivos y el conocimiento del mejorador. Los métodos de selección convencionales, aplicados en quinua, son la selección masal, la selección genealógica o de pedigree (selección individual) y la selección uniseminal.

### *Selección masal.*

Este método sugerido para las especies autóгамas (Jennings *et al.* 1981), debido a su sencillez y bajo costo de implementación se empleo con éxito en quinua (Gandarillas 1979).

Una vez realizada la hibridación y obtenida la  $F_1$ , con los procedimientos escritos anteriormente, las semillas de la generación  $F_2$  hasta la  $F_5$  o  $F_6$  se siembran y cosechan en forma masal sin selección artificial, pero sí con selección natural, por lo que se recomienda sembrar estas poblaciones generación tras generación en zonas marginales, donde año tras año se presentan los estreses de naturaleza biótica o abiótica para lo cual se mejora. En cada ciclo de reproducción ocurre la autofecundación de las progenies, de tal forma que las plantas han alcanzado un grado alto de homocigosis en la  $F_6$ , por tanto son relativamente estables en la

expresión de sus caracteres. Las progenies con escasa adaptación o tolerancia y/o resistencia a los estreses han sido reducidas o eliminadas por efecto de los estreses o selección natural y por la competencia intrapoblacional. A partir de la  $F_5$  o  $F_6$ , se procede con la selección artificial de acuerdo a las características deseadas y la presión de selección establecida por el mejorador y a la evaluación del rendimiento en diferentes localidades y años empleando diseños estadísticos apropiados hasta identificar la o las nuevas líneas de valor que se constituirán en las nuevas variedades.

La selección masal, después de un cruzamiento artificial, es económico, no requiere mucho trabajo y recursos para realizar las observaciones y selecciones. Sin embargo, el fitomejorador se expone al riesgo de perder o no observar algunos genotipos valiosos, producto de subutilización del material de selección y la pérdida de información de la interacción genotipo x ambiente.

Este tipo de selección puede sufrir modificaciones con la finalidad de aumentar su eficiencia. Una modificación a este método es la selección panoja-surco, donde se puede mejorar la evaluación de las progenies e identificar fácilmente las líneas sobresalientes.

Empleando este método se liberó a primera variedad dulce Sajama (Gandarillas 1960) y las variedades Huaranga, Chucapaca y Kamiri (Gandarillas y Saravia 1986).

#### *Selección Genealógica o de Pedigree.*

Gandarillas (1979) y Lescano (1994) describen el proceso de selección pedigree aplicado en quinua.

La población  $F_2$  es sembrada, semilla por semilla, en forma equidistante e identificando cada planta establecida para conocer su origen o pedigree. La selección en esta población se realiza en función a evaluaciones individuales y la planta seleccionada se cosecha en forma individual. En la generación  $F_3$  se siembran las semillas de cada planta o su progenie en surcos individuales identificados con el término de familias, considerando que en esta generación todavía se tiene un porcentaje alto de heterocigosidad se debe realizar selecciones de plantas individuales dentro de las familias y entre familias, manteniendo la identidad o pedigree de

cada planta la cual debe ser cosechada en forma individual. Similar trabajo y selección se realizan en la generación  $F_4$  y  $F_5$  o  $F_6$ . Cada planta seleccionada debe tener suficientes datos que permita reconocer sus progenitores y también sus descendientes. Considerando el alto nivel de homocigosis de la Generación  $F_6$ , las progenies de las plantas pasan a ser llamadas líneas y la selección a este nivel se realiza entre líneas y ya no dentro de las líneas, realizándose la cosecha masal de cada línea, es en esta generación que se realizan pruebas de calidad, especialmente aquellas de aplicación industrial. Las líneas avanzadas que se obtienen por este método son líneas puras con toda la información pertinente a su genealogía.

En la Generación  $F_7$  se realiza por primera vez la evaluación preliminar del rendimiento y el incremento de semillas para pruebas posteriores. Las generaciones  $F_8$  a la  $F_{11}$  o  $F_{12}$  se emplean para evaluar el rendimiento de las líneas seleccionadas en diferentes localidades y años para luego seleccionar la línea de mejor comportamiento y estabilidad, la cual debe pasar a las pruebas de registro de variedades.

Es importante señalar que a partir de la Generación  $F_2$  se puede seleccionar por caracteres cualitativos y a partir de la generación  $F_4$  los caracteres cuantitativos y a partir de la  $F_6$ , se selecciona material altamente homocigota y por caracteres como rendimiento, tamaño de semillas y otros.

En cada ciclo de selección, se debe incluir un surco testigo de una variedad conocida o de los progenitores a intervalos de 15 a 20 unidades, esto con la finalidad de comparar la expresión de numerosos caracteres que son criterios de selección.

El método de selección por pedigree es muy preciso en el seguimiento de las plantas individuales y las líneas y requiere de una amplia experiencia del mejorador en el cultivo y en el protocolo de selección. Las variedades obtenidas por este método son genéticamente muy homogéneas con la consecuente estrechez genética. Esta desventaja puede ser superada aplicando un método combinado con la selección masal en la última fase. Finalmente, este método es muy apropiado para proteger los derechos del obtentor o registrar las variedades mejoradas y realizar estudios de

herencia.

### *Selección uniseminal (Descendencia de Semilla Única).*

La selección uniseminal o descendencia de semilla única surgió por la necesidad de acelerar la obtención de nuevas variedades en especies autógamas. Siguiendo los procesos normales se requieren entre 12 a 15 ciclos de vida o campañas agrícolas para desarrollar una variedad (línea pura) de especies autógamas. Si los ciclos son anuales se requerirían de 12 a 15 años. Casi la mitad de este periodo es de espera únicamente para lograr el nivel de homocigosidad requerido para evaluar caracteres de importancia económica, como el rendimiento, en las cuales existe vigor híbrido por efecto de la heterocigosidad (Poehlman y Sleper 2003)

El fundamento del método consiste en manejar el medio ambiente de tal modo de acelerar el ciclo de vida de las plantas. El material genético segregante ( $F_2$  a  $F_5$  o  $F_6$ ) es sembrado en condiciones controladas con temperatura alta, poco nutrientes y suelo, limitada disponibilidad de agua y luz permanente; estas condiciones aceleran los ciclos de vida de las plantas y ellas pasan de la fase vegetativa a la reproductiva muy rápidamente por el “Principio de Supervivencia” logrando producir muy pocos frutos o los suficientes para perdurar en el futuro. El método requiere tan sólo que cada planta esté representada en la siguiente generación por una progenie de allí la denominación de “Descendencia de Semilla Única”. No se realizan selecciones durante este proceso y se deben obtener más de tres generaciones por año y se debe evitar la pérdida de plantas y si esto ocurriera deben ser al azar.

Una vez obtenida la población  $F_2$ , según el método original se cosecha una semilla de cada planta  $F_2$ , de tal forma que si en una  $F_2$  tenemos 8000 plantas, deberíamos tener 8000 semillas cosechadas. En la próxima generación, se siembra las 8000 semillas. A la madurez, también se toma una semilla por planta bajo el mismo procedimiento. Este procedimiento se sigue hasta la  $F_5$  o  $F_6$ . Considerando que el material alcanzó ya un nivel de homocigosidad alto requerida por el mejorador ( $F_6$  o  $F_7$ ) se cosechan todas las semillas de las plantas y se siembran en el campo con la finalidad de incrementar las semillas

y en las siguientes generaciones se proceder a evaluar y seleccionar por los criterios establecidos en forma similar al manejo de líneas puras descritas en otros métodos.

En el caso de la quinua, se ha aplicado con alguna modificación. En cada progenie se tomó aproximadamente 5 semillas por planta, esto con la finalidad de reemplazar las unidades que fácilmente se pierden por el tamaño de la semilla y el vigor de la plántula. La siembra se realizó en macetas pequeñas de material plástico (bolsas o vasos desechables), colocando 2 a tres semillas por maceta, luego después de la emergencia se raleo a una planta por maceta. En campo, la siembra se realiza en forma similar al método masivo. La siembra se realizó en ciclos sucesivos alternando ambiente de campo e invernadero para reducir el tiempo requerido para alcanzar una homocigosis razonable. El método es relativamente sencillo y la única dificultad radica en el manejo de las semillas por ser éstas muy pequeñas. A partir de la  $F_6$  en adelante las líneas obtenidas pueden ser evaluadas y seleccionadas en finca de agricultores aplicando principios de investigación participativa.

### **Método de Retrocruza.**

La retrocruza es un método que busca mejorar una variedad de valor comercial, preferida por los agricultores y consumidores, con uno o dos defectos que limitan su empleo; generalmente su susceptibilidad a una enfermedad o una característica negativa asociada a su calidad; de naturaleza cualitativa. Requiere de un progenitor recurrente (variedad comercial a mejorar) y un progenitor donador de la característica a mejorar. Para acelerar y asegurar el éxito del método se requiere que la susceptibilidad a la enfermedad o el carácter negativo de calidad sea gobernada por genes recesivos y que la resistencia o calidad positiva sea gobernada por genes dominantes. En el caso en que el carácter en donación es recesivo se requiere de un ciclo de autofecundación adicional para identificar el carácter en transferencia en estado homocigota recesivo, antes de realizar la retrocruza, lo que alarga el proceso de obtención de una nueva variedad al doble del tiempo.

En el método se cruzan el progenitor recurrente por el donante y se obtiene una  $F_1$  y con la  $F_1$  se inicia un programa de retrocruzas hacia el progenitor

recurrente en cada generación. Las plantas empleadas para la cruce con el recurrente deben llevar los genes de resistencia o los de calidad positiva del donante. Por cada retrocruza al recurrente se pierde un 50% del genoma del donador. Se requieren en la práctica de 6 a 10 retrocruzas y autofecundación final para que el material genético desarrollado tenga la combinación valiosa de la variedad original más la resistencia o calidad incorporada en estado homocigota. Este material se incrementa y se puede usar directamente como variedad comercial.

Gandarillas (1979) y Lescano (1994) informaron el empleo del método de retrocruza en quinua. Se usó como progenitor recurrente la accesión 1638 de la Raza Real - tipo pandela de granos grandes amargos y como progenitor donante la variedad Patacamaya de color verde y granos dulces. La  $F_1$  de esta cruce fue del tipo pandela y amargo. Las plantas  $F_1$  se retrocruzaron con la accesión 1638-tipo Pandela. Las plantas de la primera retrocruza (BC1) fueron autofecundadas para obtener plantas tipo pandela con granos tipo real grande y dulce. Estas plantas fueron retrocruzadas por pandela en una segunda retrocruza y la progenie autofecundada para seguir seleccionando los tipos pandela-dulces y así sucesivamente.

#### **Hibridación Interespecífica e Intergenérica.**

La hibridación interespecífica se refiere al cruzamiento entre individuos de dos especies diferentes del mismo género. Gandarillas (1986), realizó cruzamientos interespecíficos en el género *Chenopodium* para estudiar el origen de la quinua cultivada. Posteriormente, Bonifacio y Gandarillas (1992), seleccionaron una serie de líneas y obtuvieron la variedad Sayaña que tiene como progenitores a la variedad Sajama (*Ch. quinoa*) por Ajara (*Ch. carnosolum*). Los trabajos de hibridación interespecífica realizadas por Gandarillas (1986) y Bonifacio (1995), como también por los reportes de Wilson & Manhart (1993) y Ward & Johnson (1993), permiten aseverar que cruzamientos interespecíficos son viables, especialmente las cruces de *Ch. quinoa* por *Ch. nuttalliae*, *Ch. berlandierii*, *Ch. petiolare*, *Ch. carnosolum*.

Lescano (1994), planteó la posibilidad de la hibridación interespecífica entre *Ch. quinoa* y *Ch. pallidicaule* para la obtención de híbridos con rango

de adaptación a mayor altitud y de grano dulce, sin embargo las dificultades derivadas del nivel de ploidía, el tamaño pequeño de la flor y la alta fragilidad del pedicelo limitan esta posibilidad.

La hibridación entre especies de los géneros *Chenopodium* y *Atriplex* han sido probadas, obteniéndose híbridos intergenéricos entre *Ch. quinoa* por *Atriplex hortensis* (alto contenido de proteína) y *Atriplex joaquiniana* (Bonifacio 1995). Sin embargo, las plantas  $F_1$  mostraron completa androesterilidad híbrida.

Los cruzamientos intergenéricos e interespecíficos constituyen métodos poco explorados en el mejoramiento de la quinua, sin embargo, las especies silvestres del género *Chenopodium* como las de otros géneros de la Sub familia Chenopodioideae, albergan fuentes genéticas importantes para incorporar en la quinua cultivada (rusticidad, resistencia a heladas, resistencia a sequía).

#### **Mejoramiento Genético por Inducción de Mutaciones.**

##### *Mutaciones Naturales – Paramutación y transposición y Selección en Segregantes Naturales*

La segregación natural bastante frecuente en quinua es aquella asociada principalmente al cambio de color de planta y de granos, los cuales segregan de planta verde a púrpura y de grano blanco a grano negro y, café o viceversa. Esto se atribuye a fenómenos de paramutación que fue reportado en algunas especies o también a la transposición genética o ambos a la vez (Bonifacio 1995, 1996).

Las variedades que presentan la segregación natural más evidente son la Pandela, Sayaña, Jacha Grano, quinua de la costa, entre otros. Se asume que esta característica fue más frecuente durante la evolución de la especie y fue aprovechada por las culturas ancestrales en la domesticación y selección. Esta generación de variación genética natural ha sido identificada en la quinua y para utilizarla se aplicó la selección panoja-surco, obteniéndose las variedades Mañiqueña, Blanquita y recientemente en proceso de liberación la nueva variedad Qanchis Blanca.

##### *Inducción de mutaciones.*

Las variedades tradicionales de quinua tienen



combinaciones valiosas de genes producto de la selección natural y humana realizada durante cientos de años que han determinado su grado de adaptación a diferentes ambientes y su valor nutritivo. Actualmente la quinua está siendo sembrada en condiciones de alta tecnología por lo que se requiere aprovechar estas combinaciones valiosas de genes con ligeras modificaciones, sobre todo en aspectos de duración de ciclo de vida y tamaño de planta, lo cual podría lograrse con mutaciones inducidas.

El método de inducción de mutaciones se caracteriza por su rapidez y porque una vez corregidos los defectos se conserva la combinación valiosa existente en el material a mejorar. En quinua se empleó para mejorar la variedad Pasankalla, para lo cual las semillas fueron irradiadas con dosis de 150 Gy, 250 Gy y 350 Gy de rayos gamma, respectivamente. En la generación de  $M_1$ , el proceso de germinación fue más lento con el aumento de la dosis de radiación. Del mismo modo la altura de plántula, longitud de raíz y el desarrollo de las hojas fueron más reducidos en la dosis más alta y no hubo supervivencia de las plantas en la dosis de 350 Gy.

En la generación  $M_2$  el mayor espectro de mutaciones de clorofila se observó en la dosis de 150 Gy y la frecuencia máxima en la de 250 Gy. El tipo *chlorina*, fue el predominante seguido por el tipo *xantha*. Las mutaciones registradas en las dos dosis fueron en la ramificación, longitud de pedicelos, reducción de altura de planta y ciclo de vida, el color del tallo y hojas de plantas, forma de hoja y mejor tipo de planta. Se observó más de dos tipos de mutaciones por planta, especialmente en la dosis de 250 Gy. En la generación  $M_3$  se encontró el mismo espectro de mutaciones siendo, a este nivel lo más valioso, las mutaciones en altura de planta, ciclo de vida y color de grano (Gómez & Eguiluz, 2013).

### **Técnicas o Herramientas de la Biotecnología Moderna Aplicadas en el Mejoramiento de la Quinua.**

Con el empleo de métodos de mejoramiento clásico de la quinua, se ha logrado importantes avances en la obtención de variedades mejoradas. Sin embargo, en los últimos años, la necesidad de abordar caracteres más complejos y en menor tiempo, ha llevado a la necesidad de emplear

nuevas técnicas de mejoramiento, entre ellos las herramientas de la biotecnología moderna. En este campo se han registrado avances espectaculares. Actualmente, existen técnicas moleculares que permiten mejorar la eficiencia de los métodos convencionales, algunos de los cuales ya se aplican en la quinua.

### **Producción de Dobles Haploides**

Es una técnica ideal para acelerar la obtención de líneas homocigotas y nuevas variedades de plantas. Los genotipos homocigóticos obtenidos con las técnicas de dobles haploides a partir de plantas de la generación  $F_1$ , se pueden originar de microsporas o megasporas uninucleadas formadas en el proceso de microsporogénesis o megasporogénesis de esta generación. Las líneas dobles haploides son, por lo tanto, una muestra al azar de los gametos producidos por el donador. Cada microspora o megaspora está capacitada potencialmente para la regeneración de un embrión y cada planta representará además la variación que existe en la población de las microsporas (Ferrie *et al.* 1995; Ferrie *et al.* 2003). La producción de dobles haploides de híbridos  $F_1$  ofrece un ahorro de tiempo para los programas de mejoramiento de plantas puesto que permite obtener líneas completamente homocigóticas en menor tiempo. En quinua se han realizado estudios preliminares para la obtención de dobles haploides a partir del cultivo *in vitro* de anteras (microsporas) de las variedades Rosada de Huancayo y Blanca de Hualhuas (Soplin, 2009)

### **Selección Asistida por marcadores moleculares.**

El empleo de marcadores bioquímicos y moleculares en la quinua se inician con el propósito de establecer las relaciones filogenéticas de las especies del género *Chenopodium*. El empleo de isoenzimas en las Chenopodiáceas (Wilson 1988, Terrence & Walters 1988). El uso de los marcadores RAPD para identificar la condición híbrida de las progenies provenientes de cruza interespecíficas e intergenéricas (Bonifacio 1995) y la relación genética de la quinua silvestre y cultivada (Ruas *et al.* 1999), estudios similares fueron realizados por Maughan *et al.* (2006).

Los marcadores moleculares son herramientas esenciales para el mejoramiento moderno de plantas ya que están “ligados” a genes de interés, la

selección de este marcador resulta en la selección indirecta del gen de interés y es el fundamento de la selección asistida por marcadores moleculares (MAS). Cuanto más próximos estén el marcador y el gen en cuestión, más eficiente será la selección y son muy importantes para conservación de germoplasma y la caracterización de colecciones núcleo y su aplicación en mejoramiento, tal como la selección asistida por marcadores (Eathington *et al.* 2007; Ganai *et al.* 2009).

En quinua el primer set de 208 microsatelites o repeticiones en tándem o SSR (Simple Sequence Repeat) polimórficas fueron desarrolladas por Mason *et al.* (2005), luego Jarvis *et al.* (2008) reporta un juego adicional de otras 216 nuevos marcadores SSR y un mapa de ligamiento consistente de 275 marcadores moleculares, incluyendo 200 marcadores SSR. En un esfuerzo conjunto entre PROINPA, PREDUZA y la Fundación McKnight se han desarrollado marcadores moleculares para importantes características, tales como resistencia al mildiu, contenido de saponina, contenido de proteína y su composición entre otros (Maughan *et al.* 2004; Coles *et al.* 2005; Mason *et al.* 2005; Stevens *et al.* 2006, Jarvis *et al.* 2008; Rodríguez & Isla, 2009).

Wilson (1988a) y Christensen *et al.* (2007) mostraron que existe una alta similaridad genética entre las quinuas del ecotipo costa y la de la región andina. Fuentes *et al.* (2008) indican que las quinuas de la región andina y las de la costa de Chile comparten 21.3% de los alelos y que las de la región Andina contienen 28.6% de alelos únicos y los de la costa 50%. De acuerdo a Rojas *et al.* (2010b), 86% del germoplasma boliviano ha sido caracterizado empleando marcadores moleculares.

Maughan *et al.* (2012) informa la identificación de 14,178 polimorfismo de nucleótido simple o SNPs (Single Nucleotide Polymorphisms) y el desarrollo de procedimientos analíticos de laboratorio de 511 SNP. Empleando 113 accesiones de quinua mostraron que la menor frecuencia de alelos (MFA) de los SNPs varió de 0.02 a 0.50, con un valor promedio MFA de 0.28. El análisis estructural mostró los dos grupos de quinua Costa y Andina. El mapa de ligamiento de los SNPs en una población derivada de la recombinación de dos líneas endogámicas produjo un mapa de ligamiento

integrado por 29 grupos de ligamiento con 20 grupos grandes de ligamiento, separados por 1404 cM con una densidad de marcadores de 3.1 cM por marcador SNP. Los SNPs identificados en este trabajo representan una herramienta genómica necesaria en programas de mejoramiento emergentes para un análisis avanzado de características agronómicas en quinua.

### **Programas y actividades de mejoramiento genético de la quinua.**

Los primeros Programas de Mejoramiento Genético de Quinua fueron establecidos en diferentes países de la Región Andina y están bajo la responsabilidad principalmente de entidades de investigación del gobierno, de entidades publico-privadas y de las universidades públicas o privadas.

En Bolivia, el mejoramiento de la quinua fue implementado en la Estación Experimental Patacamaya en la década del 60 con la participación del proyecto colaborativo de SAI (Servicio Agrícola Interamericano), posteriormente por el Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA) en 1977. El trabajo de mejoramiento genético de la quinua en el periodo del IBTA permitió liberar 15 de variedades hasta su cierre en 1997. En 1998, la Fundación PROINPA ha retomado la investigación de la quinua que permitió liberar seis variedades. Actualmente se han iniciado trabajos para lograr la adaptación de la quinua a los valles donde se obtienen altos rendimientos. La zona tropical (Santa Cruz) es otra zona de interés para la quinua, siendo el propósito la rotación con cultivos comerciales como la soya en siembras de invierno.

En Perú, los trabajos de mejoramiento genético fueron implementados en la década de 1960 por el INIA-Perú (Puno y Cusco; principalmente) y la Universidad Nacional del Altiplano en Puno. Posteriormente se iniciaron actividades de mejoramiento en la Universidad San Antonio Abad en el Cusco y la Universidad Nacional Agraria La Molina; principalmente. Fruto de los trabajos de mejoramiento se liberaron 10 variedades para la zona del altiplano circundante al lago Titicaca y más de cinco variedades para los Valles interandinos. Además del desarrollo de líneas promisorias para la costa peruana.

En Ecuador, la caracterización del material genético orientado al mejoramiento se inició en la década del 80. Posteriormente, el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP) implementó programas de selección liberando al menos tres variedades. Últimamente, el programa de granos del INIAP ha emprendido el mejoramiento mediante hibridación y selección cuyos resultados iniciales son muy alentadores puesto que ha logrado seleccionar progenies de grano grande similares a la quinua real.

En Chile, Semillas Baer y AGROGEN (entidades privadas), han realizado colectas de material local, introducciones de material genético, hibridación dirigida y selección obteniendo la variedad de quinua La Regalona-B adaptada a las condiciones de la Costa (Von Baer *et al.* 2009).

En Brasil (Planaltina), EMPBRAPA realizó trabajos de adaptación y selección de variedades de quinua señalando potencial para el desarrollo de variedades para el trópico dentro del material estudiado (Spehar y Santos 2005), encontrando que el mayor rendimiento estaba asociado con la altura de planta, ciclo productivo largo y tamaño de panoja, lo que da pautas para seleccionar variedades para la zona tropical.

Las iniciativas de introducir la quinua en otros continentes es cada vez más creciente, en algunos países desarrollados se ha iniciado trabajos orientados al mejoramiento genético. Podemos mencionar las iniciativas de la Universidad de Colorado USA (Ward y Johnson, 1993, y xx). La Universidad Brigham Young que conduce programas de investigación básica en biología molecular orientado a la aplicación de dicha herramienta en programas de mejoramiento genético, genoma de la quinua, origen y filogenia (Maughan *et al.* 2004; Coles 2005; Mason 2005; Stevens *et al.* 2006, Jarvis *et al.* 2008; Maughan *et al.* 2012). Investigadores de la Universidad del Estado de Washington han iniciado la selección de variedades de quinua con énfasis en la producción orgánica y agricultura diversificada ([css.wsu.edu/people/faculty/kevin-murphy](http://css.wsu.edu/people/faculty/kevin-murphy)). En Europa, Risi (1986) evaluó la adaptación de más de 300 accesiones de quinua en Inglaterra, en Dinamarca, investigadores de la Universidad de Copenhague tienen un programa de investigación de la quinua y entre ellos el

componente del mejoramiento genético (Jacobsen *et al.* 2005; Jacobsen, 2007; Verena, 2013)

### **Variedades modernas de quinua.**

La mayoría de las variedades mejoradas en Bolivia corresponden a las liberadas por IBTA. Las variedades liberadas son Sajama, Sajamaranti, Chucapaca, Qamiri, Waranqa, Surumi, Jiskitu, Intinaira, Sayaña, Jumataki, Jilata, Patacamaya, Amilda y Mañiqueña (IBTA-DNS, 1996). Algunas de estas variedades fueron ampliamente difundidas como la Sajama, Chucapaca, Huaranga y Sayaña, otras no han tenido al difusión deseada por el cierre del IBTA en 1997. Sin embargo, la conservación de estas variedades fue posible gracias a la participación de la Fundación PROINPA (Promoción e Investigación de Productos Andinos). Las variedades mejoradas hasta la década de 90 fueron de grano blanco y dulce, lo que muestra la orientación hacia el consumo local por la facilidad que ofrece la quinua dulce para el beneficiado.

Al cierre del IBTA, la Fundación PROINPA (entidad privada sin fines de lucro de interés público) ha retomado el trabajo de mejoramiento, liberando las variedades mejoradas mediante hibridación y selección, entre ellas Jacha Grano, Kurmi, Blanquita, Qusuña, Aynoqa, Horizontes (Bonifacio, *et al.*, 2003; Bonifacio y Vargas, 2005). En este grupo de variedades se encuentran tanto dulces como amargas, de ciclo precoz, grano grande y resistente a la enfermedad del mildiu.

En Perú se liberaron más de 16 variedades de grano grande y mediano con resistencia al mildiu y alto rendimiento (Blanca de Juli, Kankolla, Salcedo INIA, Illpa INIA, Cheweka, Yocará, Tahuaco 1, Pasanqalla, Chullpi Rojo, Qoitú Negro, Choklito, Altiplano, Amarilla Sacaca, Blanca de Hualhuas, Rosada de Huancayo, Blanca de Junín, Amarilla Maranganí).

En Ecuador 12 variedades que son de grano mediano a grande, resistencia al mildiu y alto rendimiento Tunkahuan, Ingapirca, Cochasqui, Imbaya, Chaucha, Tanlahua, Piartal, Porotoc, Amarga del Chimborazo, Amarga de Imbabura y Morada (Mujica *et al.* 2004; Tapia 1990; Mujica 1992). Según Peralta (2006) la variedad Tunkahuan está vigente y es la más sembrada en la sierra ecuatoriana. Asimismo, indica que en el año 2004 se liberó la variedad Pata de Venado.

## Referencias

- Allard, RW (1975). *Principios de la mejora genética de plantas*. Trad. José Luis Montoya. Omega, Barcelona, España. 497 p.
- Andersen, WR & DJ Fairbanks (1990). Molecular markers: Important tools for plant genetic resource characterization. *Diversity* 6 :3 – 4; 51-53.
- Barnett, A (2005). Efectos de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo riego por goteo. Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo. UNALM, Lima – Perú.
- Bhargava A; S Shukla & D Ohri (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research* 101: 104–116.
- Bhargava A; S Shukla & D Ohri (2007). Gynomonoecy in *Chenopodium quinoa* (Chenopodiaceae): variation in inflorescence and floral types in some accessions. *Biologia*. Bratislava, 62:1, 19-23.
- Bertero H D; AJ de la Vega; G Correa; SE Jacobsen; A Mujica (2004). Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crops Research* 89: 299–318.
- Bertero HD & RA Ruiz (2010). Reproductive partitioning in sea level quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Field Crops Research* 118: 94–101
- Bollaert W. (1860). *Antiquarian, ethnological and other researchers in New Granada*, Ecuador, Peru and Chile. S.N.T, 279 p.
- Bonifacio A (1990). Caracteres hereditarios y ligamiento factorial en la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ing. Agr. Thesis, Cochabamba, Bolivia Universidad Mayor de San Simón, 189 p.
- Bonifacio A (1990). Materiales de aislamiento en cruzamientos de la quinua. In: *Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos*, 6to. Quito, Ecuador, 67-68
- Bonifacio A (1991). Materiales de aislamiento en cruzamientos de la quinua. In: *Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos*, 6to. Quito, Ecuador, 67-68.
- Bonifacio A (1995). Interspecific and Intergeneric Hybridization in Chenopod Species Tesis M.Sc., Provo, Utah Brigham Young University, 150 p
- Bonifacio A (2003). *Chenopodium* Sp.: Genetic Resources, Ethnobotany, and Geographic Distribution. *Food Reviews International*, 19:1, 1 – 7. DOI: 10.1081/FRI-120018863 URL: <http://dx.doi.org/10.1081/FRI-120018863>
- Bonifacio A; A Mujica; A Alvarez & W Roca (2004). Mejoramiento genético, germoplasma y producción de semilla. In: A. Mujica, S. Jacobsen, J. Izquierdo y JP. Marathe (eds). Quinoa: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile, 125-187.
- Bravo R & P Catacora (2010). Granos Andinos: avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, Cañihua y Kiwicha en el Perú. Bravo, R.; Valdivia, R.; Andrade, K.; Padulosi, S.; Jager, M (eds). Ed FIDA - Bioversity International, Roma, Italia, 136p.
- Bonifacio A, Vargas A y Aroni G (2003). Variedad de quinua Hacha grano. MACIA-PREDUZA-McKNIGHT-UMSA. La Paz, Bolivia, Ficha Técnica Nro 6.
- Bonifacio A y Vargas A (2005). La variedad de quinua Kurmi. MACA-SIBTA, La Paz, Bolivia, Ficha Técnica Nro 12.
- Bruno MC (2001). Formative Agriculture? The status of *Chenopodium* domestication and intensification at Chiripa, Bolivia (1500 B.C. – 100 B.C.) A.M. Thesis, Department of Anthropology, Washington University, St. Louis.
- Cardenas M & JG Hawkes (1948). Número de cromosomas de algunas plantas nativas cultivadas por los indios en los Andes. *Revista Agrícola*. 4: 30-32.
- Christensen SA; DB Pratt; C Pratt; MR Stevens; EN Jellen; CE Coleman; DJ Fairbanks; A Bonifacio & Maughan PJ (2007). Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers. *Plant Genetic Resources* 5, 82–95.
- Coles ND; CE Coleman; SA Christensen; EN Jellen;



- MR Stevens; A Bonifacio; JA Rojas-Beltran; DJ Fairbanks & Maughan PJ (2005). Development and use of an expressed sequenced tag library in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for the discovery of single nucleotide polymorphisms. *Plant Science*, Vol 168, Issue 2, 439-447.
- Cusack D.F (1984). Quinoa: Grain of the Incas. *Ecologist* 14, 21-31
- Eathington S R; T M Crosbie; MD Edwards; RS Reiter & J K Bull (2007). Molecular markers in a commercial breeding program. *Crop Science*. 47; S154-S-163.
- Espindola G (1980). Estudio de componentes directos e indirectos del rendimiento en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ing. Agr. Thesis, Cochabamba, Bolivia Universidad Mayor de San Simona, 91p.
- Espindola G & H Gandarillas (1985). Study of correlated characters and their effects on quinoa yield. *Bol. Gen. Inst. Fitotec.* 13, 47-54.
- Fairbanks D.J. & WR Andersen (1999). Genetics. The continuity of life. Books/Cole Publishing, USA. 820 p.
- FAO/RLAC/UNA (1998). Prueba Americana y Europea de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Libro de campo. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Dirección de Producción y Protección de Plantas, Universidad Nacional del Altiplano. 41 p.
- Ferrie A; D Epp & W Keller (1995) Evaluation of *Brassica rapa* L. genotypes for microspore cultura response and identification of a highly embryogenic line. *Plant Cell Reports* 14, 580-584.
- Ferrie A (2003) Microspore culture of *Brassica* species. In: Maluszynski M, Kasha KJ, Forster BP, Szarejko I (eds) Doubled Haploid Production in Crop Plants: A Manual. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 205 -215.
- Fuentes F; E Martinez; J. Delatorre; P Hinrichsen; EN Jellen & PJ Maughan (2006). Diversidad genética de germoplasma chileno de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) usando marcadores de microsatélites SSR. In: A. Estrella, M. Batallas, E. Peralta y N. Mazón (eds). Resúmenes XII Congreso Internacional de Cultivos Andinos. 24 al 27 de julio de 2006. Quito, Ecuador.
- Fuentes F; EA Martinez; PV Hinrichsen; EN Jellen & PJ Maughan (2008). Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conservation Genetics*. Springer Science+Business Media B.V. 2008.
- Ganal MW; T Altmann; & M S Roder (2009) SNP identification in crop plants. *Current Opinion in Plant Biology*. 12, 211-217.
- Gandarillas H. & J Luizaga (1967). Número de cromosomas de *Chenopodium quinoa* Willd. En radículas y raicillas. *Turrialba* 17:3, 275-279.
- Gandarillas, H (1967). Observaciones sobre la biología reproductiva de la quinua. *Sayaña* 5:2, 26-29.
- Gandarillas H (1968). Razas de quinua. *Boletín Experimental* 34. La Paz, Bolivia: Ministerio de Agricultura y Asuntos Campesinos. Division de Investigaciones Agrícolas, Universo, 35p.
- Gandarillas H (1969). Esterilidad genética y citoplasmática de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Turrialba* 19,429-430.
- Gandarillas H (1974). Genética y origen de la quinua. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios.
- Gandarillas H (1979 a). Mejoramiento genético. In: Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A., ortiz, R., Otazu, V., Rea, J., Salas, B., Zanabria, E., eds. Quinua y Kañihua, Cultivos Andinos. Bogota, Colombia: IICA, 65-82.
- Gandarillas H (1979b). Genética y Origen. In: Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A., ortiz, R., Otazu, V., Rea, J., Salas, B., Zanabria, E., eds. Quinua y Kañihua, Cultivos Andinos. Bogota, Colombia: IICA, 45-64.
- Gandarillas H (1979). Investigaciones Agrícolas, Universo. La Paz, Bolivia. Boletín Experimental No.34, 35 p.
- Gandarillas H (1984). Obtención experimental de *Chenopodium quinoa* Willd. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. La Paz, Bolivia, 21 p.
- Gandarillas H (1986). Estudio Anatómico de los Organos de la quinua. Estudio de Caracteres Correlacionados y sus Efectos sobre el Rendimiento. Hibridaciones entre Especies de la Subsección Cellulata del Genero *Chenopodium*, La Paz, Bolivia, 48 p.

- Gomez-Pando L; R Alvarez-Castro & A Eguiluz-de la Barra (2010). Effect of Salt Stress on Peruvian Germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: A Promising Crop. *Journal Agronomy & Crop Science*, 196: 391-396.
- Gómez L & A Eguiluz (2011). Catalogo del Banco de Germoplasma de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), Universidad Nacional Agraria La Molina, 183p.
- Gomez-Pando L & A Eguiluz-de la Barra (2013). Developing Genetic Variability of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with Gamma Radiation for Use in Breeding Programs. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 349-355 doi: 10.4236/ajps. 2013. 42046. Published Online February (<http://www.scirp.org/journal/ajps>).
- Gremillion KJ (1993a). The Evolution of Seed Morphology in Domesticated *Chenopodium*: An Archeological Case Study. *Journal of Ethnobiology* 13:2, 149-169.
- Hollick JB; J E Dorweiler & V L Chandler (1997). Paramutation and related allelic interactions. *Trends in Genetics*. Vol 13:8, 302–308.
- Hunziker AT (1943). Las especies de *Amaranthus* y *Chenopodium* cultivadas por los indios de América. *Revista Argentina de Agronomía* 4:297-353.
- House LR (1982). El sorgo. Guía para su mejoramiento. Universidad Autónoma Chapingo, México, Gaceta, 425 p.
- IBTA/DNS (1996). Catálogo de variedades mejoradas de quinua y recomendaciones para producción y uso de semillas certificadas. Secretaria Nacional de Agricultura y ganadería, La Paz, Bolivia. Boletín No. 2.
- Ichuta F & E. Artiaga (1986). Relación de géneros en la producción y en la Organización Social en Comunidades de Apharuni, Totoruma, Yauricani-Illave. Informe para optar el grado de Bachiller en Trabajo Social. Puno, Perú; 15-17.
- Jacobsen S & O Stolen (1993). Quinoa - Morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *European Journal of Agronomy* 2:1, 19-29.
- Jacobsen SE; H Quispe & A Mujica (2001). Quinoa: an alternative crop for saline in the Andes. In: Scientist and Farmer – Partners in Research for the 21st Century, CIP Program Report 1999–2000, 403–408.
- Jacobsen SE & A Mujica (2002). Genetic resources and breeding of the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plant Genetic Resources*. Newsletter 130, 54–61.
- Jacobsen SE; A Mujica & CR Jensen (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Review International*. 19, 99–109.
- Jacobsen SE; C Monteros; JL Christiansen; LA Bravo; LJ Corcuera & A Mujica (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy*. Vol 22:2,131- 139.
- Jacobsen SE; C Monteros; LJ Corcuera; LA Bravo; JL Christiansen & A Mujica (2007). Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*. Vol 26:4, 471- 475.
- Jarvis DE; OR Kopp; EN Jellen; MA Mallory; J Pattee; A Bonifacio; CE Coleman; MR Stevens; DJ Fairbanks & PJ Maughan (2008). Simple sequence repeat marker development and genetic mapping in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Genetics* 87:39–51.
- Jennings P; W Coffman & H Kauffman (Ed.) (1981). Mejoramiento de Arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali: CIAT. 237 p
- Johnson DL & SM Ward (1993). Quinoa, 219-221p. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *New crops*. Wiley, New York.
- Kozioł MJ (1992). Chemical composition and nutritional value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis* 5, 35–68
- Latchman RR (1936). La Agricultura Precolombina en Chile y los países vecinos. Ediciones de la Universidad de Chile.
- Lescano JL (1994). Mejoramiento y fisiología de cultivos andinos. Cultivos Andinos en el Perú. Lima: CONCYTEC, Proyecto FEAS, 231p.
- Lumbreras LG; P Kaulicke; JI Santillana & W Espinoza (2008). Economía Prehispanica (Tomo 1). In *Compendio de Historia Económica del Perú*.

Ed. Carlos Contreras. Banco Central de Reserva del Perú. IEP. Instituto de Estudios Peruanos, 53-77.

Mason SL; MR Stevens; EN Jellen A Bonifacio; DJ Fairbanks, CE Coleman; RR McCarty; AG Rasmussen & PJ Maughan (2005) Development and use of microsatellite markers for germplasm characterization in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Crop Science*. 45:1618–1630.

Maughan PJ; SM Smith; JA Rojas-Beltrán; D Elzinga; JA Raney; EN Jellen; A Bonifacio; JA Udall & DJ Fairbanks (2012) Single Nucleotide Polymorphism Identification, Characterization, and Linkage Mapping in Quinoa. *The Plant Genome* 5:114–125.

Mujica A (1988). Parámetros genéticos e índices de selección en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgrado, Montecillo, México, 113p

Mujica A (1992). Granos y leguminosas andinas. In: J. Hernandez, J. Bermejo y J. Leon (eds). Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Roma, 129-146.

Mujica A; SE Jacobsen; J Izquierdo & JP Marathee (2001). Resultados de la Prueba Americana y Europea de la Quinua. FAO, UNA-Puno, CIP, 51p.

Mujica, A., A. Cahahua y R. Saravia. (2004). Agronomía de la quinua. In: A. Mujica, S. Jacobsen, J. Izquierdo y JP. Marathee. Quinua: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile. pp 26-59.

Murphy, K (2010). Breeding for genetic and market diversity: Examples from hops, quinoa and buckwheat. EUCARPIA Low-input and Organic Plant Breeding Conference, Paris, France, Dec. 2, 2010.

Murray A (2005). *Chenopodium* domestication in the South Central Andes: Confirming the presence of domesticates at Jiskairumoko (Late Archaic-Formative), Peru. Thesis of Master of Arts in Anthropology, California State University: Fullerton, 98 p.

National Research Council (1989). Lost crops of the Incas. Washington, DC: National Academy Press, 414p.

Núñez L (1970). La Agricultura prehistórica en los Andes Meridionales. Edi. Universidad del Norte. Editorial Orbe.

Ortiz R; EN Ruiz-Tapia; A Mujica-Sanchez (1998). Sampling strategy for a core collection of Peruvian quinoa germplasm. *Theoretical and Applied Genetics* 96: 475-483.

Peralta, E. (2006). Los cultivos Andinos en el Ecuador. Bancos de germoplasma, Fitomejoramiento y Usos: pasado, presente y futuro. In: A. Estrella, M. Batallas, E. Peralta y N. Mazón (eds). Resúmenes XII Congreso Internacional de Cultivos Andinos. 24 al 27 de julio de 2006. Quito, Ecuador.

Poehlman JM & DA Sleper (2003). Mejoramiento Genético de las Cosechas. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, México, 511p

Powel, W; M Morgante; C Andre; M Hanafey; J Vogel; S Tingey & F Rafalski (1996). The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis. *Molecular Breeding* 2:225-238

PROINPA FOUNDATION, BRIGHAM YOUNG UNIVERSITY, THE MCKNIGHT FOUNDATION 2002 – 2003. Sustainable production of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) a neglected food crop in the Andean region. ANNUAL REPORT, 31p

Rea J (1969). Biología floral de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Turrialba* 19, 91–96.

Repo-Carrasco R; C Espinoza & SE Jacobsen (2003). Nutritional value and use of the Andean crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Review International* 19, 179–189.

Risi J & Galwey NW (1984). The *Chenopodium* grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Advances in Applied Biology* 10:145–216

Risi J (1986). Adaptation of the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for cultivation in Britain. Tesis Ph. D. University of Cambridge, Cambridge, Britain. 338 p.

Rodríguez MF; ZE Rúgolo de Agrasar & CA Aschero (2006). El uso de las plantas en unidades domésticas del Sitio arqueológico Punta de la Peña 4, Puna Meridional Argentina. Chungara. *Revista de Antropología Chilena*. Vol 38:2, 257-271.

Rojas W. (2003). Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. *Food Review International*. 19, 9–23.

- Rojas W; M Pinto; A Bonifacio & A Gandarillas (2010b). Banco de Germoplasma de Granos Andinos. In: W. Rojas, M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds). Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International, Roma, Italia; 24-38.
- Rojas, W., M. Pinto, J.L. Soto y E. Alcocer (2010a). Valor nutricional, agroindustrial y funcional de los granos andinos. En: W. Rojas, M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds.). Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International, Roma, Italia. pp 151-164.
- Rojas, W. (2010). Colección núcleo de granos andinos. En: W. Rojas, M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds.). Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International, Roma, Italia. Pp 54-72.
- Rojas, W. y M. Pinto (2013). La diversidad genética de quinua de Bolivia. En: Vargas, M. (Editor. 2013). Congreso Científico de la Quinua (Memorias). La Paz, Bolivia. pp 77 - 92.
- Ruiz R (2002). Micropropagación de germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis Universidad Nacional Agraria La Molina. 100 p.
- Ruiz-Carrasco, AF; AK Coulibaly; S Lizardi; A Covarrubias; EA Martinez; MA Molina-Montenegro; S Biondi & A Zurita- Silva (2011). Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry*, Vol 49, 11:1333- 1341
- Saravia R & Gandarillas H (1986). Origen de las variedades de quinua Huaranga, Chucapaca Camiri. In: Congreso internacional de sistemas agropecuarios andinos, 5to. Puno, Perú, 143-147.
- Saravia R (1991). La androesterilidad en quinua y forma de herencia Tesis Ing. Agr., Cochabamba, Bolivia Universidad Mayor de San Simón, 139 p.
- Saravia R (1995). Evaluating quinua *Chenopodium quinoa* resistance to feeding by *Spodoptera frugiperda*. Thesis Master of Science. New Mexico State University. Las Cruces, New Mexico, USA. 80 p.
- Silvestri V y Gil F (2000). Alogamia en quinua. Tasa en Mendoza (Argentina). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo 32(1): 71-76
- Saravia R (1995). Evaluating quinua *Chenopodium quinoa* resistance to feeding by *Spodoptera frugiperda*. Thesis Master of Science. New Mexico State University. Las Cruces, New Mexico, USA. 80 p.
- Simmonds NW (1965). The grain chenopods of the tropical American highlands. *Economic Botany*. 19:223-235
- Simmonds NW (1971). The breeding system of *Chenopodium quinoa*. I. Male sterility. *Heredity* 27: 73-82
- Smith BD (1992). Rivers of Change: Essays on Early Agriculture in Eastern North America. Smithsonian Institution, Washington.
- Soplín B (2009). Estudio preliminar para la inducción de callos a partir del cultivo in vitro de anteras de *Chenopodium quinoa* Willd. Tesis. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Agraria La Molina. 58 pp.
- Spehar CR & Lorena de Barros Santos R (2002). Quinoa BRS Piabiru; alternativa para diversificar os sistemas de producao de graos. Pesquisa Agropecuaria. Brasileira. Brasilia, Brasil. Vol. 37. N° 6: 889 – 893.
- Tapia M (1979). Historia y distribución geográfica. In M.E. Tapia (ed.). Quinoa y Kaniwa. Cultivos Andinos, M. Tapia, H. Gandarillas; S. Alandia, A. Cardozo, A. Mujica, R. Ortiz, V. Otazu, J. Rea, B. Salas y E. Zanabria (autores). Centro Internacional para el Desarrollo, Bogotá, Colombia, 11-19.
- Tapia, M; A Mujica & A Canahua (1980). Origen, distribución geográfica y sistemas de producción en quinua. In "Primera Reunión sobre Genética y Fitomejoramiento de la quinua".. Universidad Técnica del Altiplano, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Centro de Investigación Internacional para el Desarrollo , Puno, Perú. Pp. A1-A8
- Uhle M (1919). La arqueología de Arica y Tocta.



Sociedad Ecuatoriana de Estudios Históricos A3: 1-48. Quito.

Verena IA; SE Jacobsen & S Shabalab (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany* 92 43– 54

Von Baer I; D Bazile & E Martinez (2009). Cuarenta años de mejoramiento de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Araucanía: Origen de La Regalona-B. *Revista Geography of Valparaiso* Nº 42: 34-44 (En línea).

Wahl HA (1953). A preliminary study of the genus *Chenopodium* in North America. *Bartonia* 27:3-46. Walters, T.W. 1988. Relationship between isozymic and morphologic variation in the diploids *Chenopodium fremontii*, *C. neomexicanum*, *C. palmeri* and *C. watsonii*. *American Journal of Botany*. 75(1):97-105.

Ward S & D Jonhson (1993). Cytoplasmic male

sterility in quinoa. *Euphytica* 66:217-223.

Wilson HD (1988a). Quinoa biosystematics I: domesticated populations. *Economic Botany* 42:461–477.

Wilson HD (1988). Allozyme variation and morphological relationships of *Chenopodium hircinum* (s.l.). *Systematic Botany* 13(2):215-228.

Wilson H & J Manhart (1993). Crop/weed gene flow: *Chenopodium quinoa* Willd and *C. berlandieri* Moq. *Theoretical and Applied Genetics*. 86:642-648.

Wright KH; OA Pike; DJ Fairbanks & CS Huber (2002). Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *Journal of Food Science* 67, 1383–1385.

## CAPÍTULO 2.6.

# TÍTULO: PRINCIPALES PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LA QUINUA

\*Autor para correspondencia: Antonio GANDARILLAS <[a.gandarillas@proinpa.org](mailto:a.gandarillas@proinpa.org)>

**Autores:** ANTONIO GANDARILLAS\*<sup>b</sup>, RAÚL SARAVIA<sup>a</sup>, GIOVANNA PLATA<sup>b</sup>, REINALDO QUISPE<sup>a</sup>, RENÉ ORTIZ-ROMERO<sup>c</sup>,

<sup>a</sup>Fundación PROINPA; Américo Vespucio 538, Piso 3, La Paz – Bolivia.

<sup>b</sup>Fundación PROINPA; Av. Meneces s/n, Km. 4 El Paso, Cochabamba – Bolivia.

<sup>c</sup>Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. Juliaca (Puno), Perú.

## Resumen

Los países andinos que reportan mayores daños y pérdidas a consecuencia del ataque de plagas y debido al rápido incremento de sus superficies de producción, son Bolivia y Perú. En los demás países andinos las superficies son menores y el problema de plagas no reviste importancia. Situación similar ocurre en otras zonas nuevas de producción de quinua en el mundo. Plagas de importancia económica son las larvas de noctuides, insectos polívoros que se alimentan de varias especies de plantas. Los noctuides atacan a la quinua en las diferentes agroecologías, en Sudamérica son varias especies involucradas, entre ellas: *Helicoverpa quinoa*, *Copitarsia incommoda*, *Copitarsia decolora*, *Agrotis ipsilon*. La más importante en las zonas de mayor producción del altiplano es *H. quinoa*. Las larvas minan las panojas en formación, defolian las plantas, horadan los tallos en la base de la panoja y consumen los granos, es decir, causan un daño múltiple. Un ataque intenso de estas larvas puede ocasionar la pérdida total de la producción. Se puede anticipar que las larvas de noctuides serán plagas importantes donde se cultive quinua en el mundo. La principal plaga de la quinua, endémica de la zona andina, es la polilla, incluye varias especies: *Eurysacca quinoae*, *E. melanocampta* y *E. media* de las cuales la más importante es *E. quinoae*, las larvas dañan las flores y los granos en formación. La enfermedad más importante en la región y a nivel global es el mildiu de

la quinua causado por el hongo *Peronospora variabilis* Gaum (antiguamente *Peronospora farinosa* Fr.). El hongo posee dos formas de reproducción: asexual (germinación directa) y sexual (oospora, estructura de sobrevivencia). Las zonas húmedas o periodos con humedad relativa sobre el 90% son favorables para el desarrollo de la enfermedad. La oospora se forma cuando el cultivo está en senescencia o cuando las condiciones favorables se tornan adversas para el patógeno. A la maduración de la planta las oosporas se adhieren a la superficie del grano, el activo movimiento mundial del grano de quinua en los últimos años, podría facilitar el movimiento del patógeno entre países y continentes, provocando serias epifitas con pérdidas considerables en el rendimiento y calidad del grano. Es importante resaltar, que en la zona Andina y Norteamérica existen fuentes de resistencia al mildiu, desde moderada a alta. El control de estas plagas está en función al tipo de producción, si es convencional u orgánica, la primera sigue prácticas de control similares a otros cultivos, y la segunda exige un manejo integral, donde combinan varias prácticas e insumos aprobados por la normativa orgánica.

## Principales plagas y enfermedades de la Quinua.

La quinua es un cultivo nuevo en el ámbito mundial, los estudios de plagas y enfermedades no son tan abundantes como en otros cultivos originados en

los Andes como por ejemplo la papa. El presente capítulo se concentra en la experiencia de la zona andina, donde se ha generado mayor información. Se exponen los complejos de plagas más importantes, el “Complejo Noctuido” y el “Complejo Polilla”. El manejo integrado o control se presenta de manera resumida, ya que dependiendo de cada contexto se deberán tomar las medidas más apropiadas. En cuanto a las enfermedades se presenta en detalle a la principal enfermedad de orden mundial, el mildiu de la quinua.

### Plagas del cultivo de la Quinua.

El cultivo de la quinua sufre el ataque de varias plagas en distintas fases de su desarrollo. La literatura

consultada permitió elaborar un listado de 56 especies de insectos fitófagos asociados al cultivo de la quinua (Cuadro 1) de las cuales 24 pertenecen al orden Lepidóptera, 15 a Coleóptera, 10 a Homóptera, 3 a Hemíptera, 2 a Thysanoptera, 1 a Díptera y 1 a Ortóptera. Estas especies, dependiendo del tipo de aparato bucal que poseen, pueden comportarse como masticadores, minadores de hojas, consumidores de polen o picadores-chupadores. De esta diversidad de especies, las que se alimentan de las hojas (defoliadores) y granos (larvas de noctuides y la polilla de la quinua) son las plagas más comunes y más importantes. Las otras especies, que son la mayoría, solo conviven con el cultivo o son visitantes fortuitos, no reportan mayores pérdidas económicas.

**Cuadro 1.** Insectos fitófagos asociados al cultivo de la quinua (ordenados en base a la mayor frecuencia de especies por orden)

ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
Lepidóptera	Gelechiidae	<i>Eurysacca</i>	<i>E. melanocampta</i> (Meyrick)
			<i>E. quinoae</i> Povolný
	Noctuidae	<i>Perizoma</i>	<i>P. sordescens</i> Dognin
		<i>Agrotis</i>	<i>A. ipsilon</i> (Hufnagel)
			<i>C. decolora</i> Guenée
		<i>Copitarsia</i>	<i>C. incommoda</i> Walker
			<i>C. turbata</i> Herrich - Schaeffer
			<i>D. graminivora</i> Walker
		<i>Dargida</i>	<i>D. acanthus</i> Herrich - Schaeffer
			<i>F. experta</i> Walker
		<i>Feltia</i>	<i>H. quinoa</i>
			<i>H. titicacae</i> Hardwick
			<i>H. atacamae</i>
		<i>Heliothis</i>	<i>H. zea</i> (Boddie)
			<i>H. titicaquensis</i>
		<i>Peridroma</i>	<i>P. saucia</i> (Hübner)
		<i>Pseudaletia</i>	<i>P. unipunctata</i> Haworth
			<i>P. interrupta</i> Maassen
		<i>Spodoptera</i>	<i>S. eridania</i> (Cramer)
			<i>S. frugiperda</i> (J. E. Smith)
ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE
Lepidóptera	Pylalidae	<i>Herpetogramma</i>	<i>H. bipunctalis</i> (Fabricius)
		<i>Spoladea</i>	<i>S. recurvalis</i> (Fabricius)
		<i>Pachyzancla</i>	<i>Pachyzancla</i> sp.
		<i>Hymenia</i>	<i>Hymenia</i> sp.
Coleóptera	Bruchidae	<i>Acanthoscelides</i>	<i>A. diasanus</i> (Pic)

Coleóptera		<i>Acalymma</i>	<i>A. demissa</i>
Coleóptera	Chrysomelidae	<i>Calligrapha</i>	<i>C. curvilinear</i> Stal
		<i>Diabrotica</i>	<i>Diabrotica</i> spp. <i>Diabrotica speciosa</i>
		<i>Epitrix</i>	<i>E. subcrinita</i> LeConte, <i>E. yanazara</i> Bechyne
	Curculionidae	<i>Adioristus</i>	<i>Adioristu</i> spp.
	Meloidae	<i>Epicauta</i>	<i>E. latitarsis</i> Haag <i>E. marginata</i> Fabricius <i>E. willei</i> Denier
		<i>Meloe</i>	<i>Meloe</i> sp.
	Melyridae	<i>Astylus</i>	<i>A. luteicauda</i> Champ <i>A. laetus</i> Erichson
	Tenebrionidae	<i>Pilobalia</i>	<i>Pilobalia</i> sp.
Homóptera	Aphididae	<i>Aphis</i>	<i>A. craccivora</i> Koch <i>A. gossypii</i> Glover
		<i>Macrosiphum</i>	<i>M. euphorbiae</i> (Thomas)
		<i>Myzus</i>	<i>M. persicae</i> (Sulzer)
	Cicadellidae	<i>Bergallia</i>	<i>Bergallia</i> sp.
		<i>Borogonalia</i>	<i>B. impressifrons</i> (Signoret)
		<i>Empoasca</i>	<i>Empoasca</i> spp.
		<i>Paratanus</i>	<i>Paratanus</i> spp. <i>P. exitiosus</i> (Uhler) <i>P. yusti</i> Young
Hemíptera	Lygaeidae	<i>Geocoris</i>	<i>Geocoris</i> sp.
	Miridae	<i>Rhinacloa</i>	<i>Rhinacloa</i> sp.
	Nabidae	<i>Nabis</i>	<i>Nabis</i> sp.
Thysanoptera	Thripidae	<i>Frankliniella</i>	<i>F. tuberosi</i> Moulton <i>F. tabaco</i> Lindeman
Díptera	Agromyzidae	<i>Liriomyza</i>	<i>L. huidobrensis</i> Blanchard
Ortóptera	Gryllidae	<i>Gryllus</i>	<i>G. assimilis</i> Fabricius

**Fuente:** Zanabria y Mujica 1977; Mujica 1993; Zanabria y Banegas, 1997; Mujica, *et al* 1998; Lamborot y Araya 1999; Ortiz, *et al* 2001; Rasmussen, *et al* 2003; Saravia y Quispe 2005; Valoy, *et al.* 2011; Rodríguez 2013.

En general, la frecuencia e intensidad de las plagas en los campos de cultivo varía con la ubicación geográfica, la presencia de los enemigos naturales y las condiciones ambientales favorables o desfavorables. En las zonas agroecológicas de los Salares y del Altiplano, que es donde se cultiva y produce más del 80% de la producción mundial de quinua, los principales problemas de plagas corresponden a los complejos “Polilla de la Quinua” y “Noctuido”, por lo que el presente

capítulo se concentrará en ambos complejos.

### 1.1.El Complejo Noctuido.

Se denomina complejo noctuido a un conjunto de insectos que pertenecen a los géneros *Helicoverpa*, *Copitarsia* y *Agrotis*, cuyas larvas causan serios daños al cultivo de la quinua, particularmente en las zonas de producción



de Bolivia y Perú, aunque también han sido reportados en Chile, Argentina, Ecuador y Colombia.

En Bolivia, el complejo noctuideo está constituido por las especies *Helicoverpa quinoa*, *Copitarsia incommoda* y *Helicoverpa titicacae*. En cambio en el Perú, está constituido por las especies *Copitarsia turbata* y *Agrotis ipsilon*. Los adultos de estas especies son mariposas nocturnas, dependiendo de la zona, reciben diferentes denominaciones, por ejemplo en Bolivia los denominan “Rafaelitos” o Alma kepis y son considerados malagüeros, en el Perú los denominan palomillas. Las larvas de estos insectos, también tienen variadas denominaciones, en Bolivia, se las conocen con los nombres de ticonas, ticuchis o gusano de tierra. En el Perú, los agricultores, las denominan gusanos de tierra. A continuación se describen las diferentes especies de noctuideos.

#### ***Helicoverpa quinoa*.**

Un reciente trabajo de Michael Pogue (que está en proceso de publicación), del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en coordinación con Entomólogos de la Fundación PROINPA, basado en ADN Mitocondrial y disección de genitales clarifica que la especie *Helicoverpa gelotopoeon*, corresponde a *Helicoverpa quinoa*. Este especialista también indica que sería difícil diferenciar las especies *H. quinoa*, *H. gelotopoeon* y *H. titicacae* sólo por caracteres morfológicos.

Basados en esta nueva información, la especie más común e importante plaga del cultivo de la quinua en el altiplano boliviano es la especie *H. quinoa*, responsable de importantes pérdidas del orden del 20% de la producción. Es también razonable pensar que los reportes de *H. gelotopoeon* atacando quinua en otros países, en realidad correspondan a *H. quinoa*. El agroecosistema del altiplano boliviano donde se encuentra esta plaga es muy amplio, varía desde

zonas secas ubicadas en los alrededores de los salares de Uyuni y Coipasa hasta las húmedas ubicadas al contorno del lago Titicaca. Con el dinámico movimiento de la quinua, existe el inminente riesgo de la dispersión de esta plaga a agroecosistemas similares en las zonas andinas de otros países de Sud América como Perú, Ecuador, Chile y Argentina.

Por otro lado, no queda claro, si *H. gelotopoeon*, una especie ampliamente distribuida en el mundo atacando muchos cultivos, también sea una plaga de la quinua. Aunque por su característica polífaga, es posible que se constituya en un problema importante en las nuevas zonas de producción.

#### **Clasificación taxonómica.**

*Helicoverpa quinoa* fue clasificada de la siguiente manera:

Clase	: Insecta
Orden	: Lepidóptera
Familia	: Noctuidae
Género	: <i>Helicoverpa</i>
Especie	: <i>H. quinoa</i> Pogue & Harp

#### **Ciclo biológico de *Helicoverpa quinoa*.**

De acuerdo a estudios realizados por la Fundación PROINPA, el ciclo biológico de *Helicoverpa quinoa* es particular. De un total de 400 larvas sometidas a observación, un 50% de la población registró una duración de  $223 \pm 36$  días de huevo a adulto (incluida la longevidad del adulto), un 25% permaneció en estado de pupa hasta el próximo periodo agrícola y un 15% murió antes de llegar a adulto. La Fig. 1 muestra la duración de cada estado de desarrollo de *H. quinoa* criado en laboratorio a 25 °C de temperatura y 60 % de humedad relativa.

**Figura 1.** Ciclo biológico *Helicoverpa quinoa*. Fuente: Laboratorio de Entomología de la Fundación PROINPA, Quipaquipani, La Paz

Según la Figura 1, el periodo de incubación dura  $5 \pm 1$  días, el periodo larval  $26 \pm 3$  días, el periodo de prepupa  $9 \pm 1$  días, el periodo de pupa  $175 \pm 29$  y el adulto vive entre 6 a 10 días.



### Comportamiento del adulto

En Bolivia, los insectos adultos de *H. quinoa* son generalmente crepusculares, pero con frecuencia se los observan alimentándose en el día sobre plantas de botón de oro o qillu-qillu (*Hymenoxys robusta*),

chachacoma (*Senecio eriophyton*) y malva o qura (*Taras satenella*) donde en vuelos cortos pasan de flor en flor alimentándose de néctar (Fig. 2)



**Figura 2.** *H. quinoa* alimentándose sobre flores de botón de oro.

### *Copitarsia incommoda*.

*Copitarsia incommoda* Walker es un insecto noctuideo. La larva es polífaga, está presente desde México hasta Chile (Angulo y Weigert 1975) y causa pérdidas económicas importantes en los numerosos cultivos (Angulo y Weigert 1975; Yabar y Baca 1981; Serna 1996; Vélez 1997).

Esta especie se reporta en Bolivia y Perú como una de las plagas más importantes del cultivo de la quinua, particularmente en la zona de influencia del lago Titicaca, donde junto con la polilla de la quinua causan pérdidas económicas del orden del 30 %. El comportamiento polífago de este insecto, es decir que se alimenta de muchas especies vegetales, y el hecho de que está presente en muchos lugares del mundo, lo convierte en una importante plaga potencial, donde se vaya a introducir y desarrollar el cultivo de quinua.

### Clasificación taxonómica.

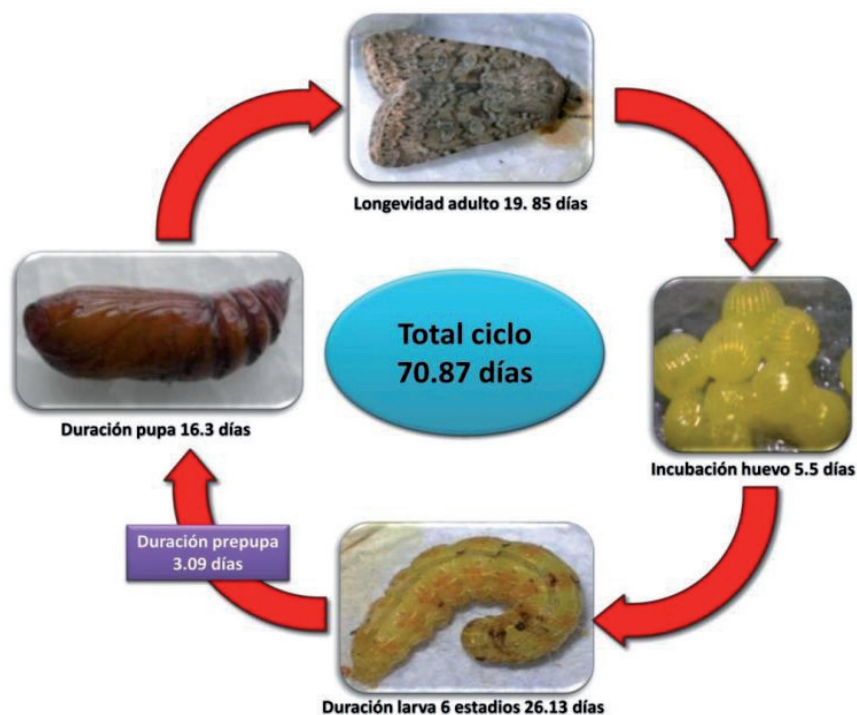
*Copitarsia incommoda* fue clasificada de la siguiente manera:

Clase:	Insecta
Orden:	Lepidóptera
Familia:	Noctuidae
Género:	<i>Copitarsia</i>
Especie:	<i>C.incommoda</i> Walker

### Ciclo biológico de *Copitarsia incommoda*

La Fig. 3 muestra los valores promedio de las fases y estadios en días, así como el total de días necesario para completar el ciclo de una generación de *C. incommoda* criado bajo condiciones de laboratorio a 25 °C de temperatura y 65 % de humedad relativa (Choquehuanca, 2011).

De acuerdo a esta figura, el periodo de incubación de los huevos tiene un promedio de 5.5 días, el larval 26.13 días, el periodo de prepupa dura 3.09 días, el de pupa 16.3 y el adulto vive 19.85 días, cumpliendo su ciclo en 70.87 días.



**Figura 3.** Ciclo biológico de *Copitarsia incommoda* Fuente: Choquehuanca 2011

### *Copitarsia decolora*

Reportes sobre la taxonomía de *Copitarsia* muestran que hubo una confusión en la identificación de *Copitarsia decolora* y *Copitarsia turbata*. El aspecto taxonómico del género *Copitarsia* fue revisado por Simmons y Pogue (2004), quienes indican que en el pasado *Copitarsia incommoda* fue erróneamente identificada como *Copitarsia turbata*. Los mismos autores designan a *Copitarsia decolora* (Guenée) como el nombre principal de esta plaga, donde *C. turbata* (Herrich-Schaeffer) pasa a ser solo un sinónimo.

Posteriormente, Angulo y Olivares (2009), llegan a la misma conclusión basados en la morfología de los huevos y larvas. Por tanto, *C. decolora* (Guenée) es el nombre taxonómico válido para la especie comúnmente conocida como *C. turbata* (Herrich-Schaeffer). Según Angulo y Olivares (2003), *C. decolora* se encuentra registrada en Venezuela, Uruguay, Perú, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, México, Argentina y Chile. Las larvas de *C. decolora* atacan numerosos cultivos (Castillo y Angulo 1991; Angulo y Olivares 2003).

### Clasificación taxonómica

*Copitarsia decolora* fue clasificada de la siguiente manera:

- Clase : Hexapoda
- Orden : Lepidóptera
- Familia : Noctuidae
- Género : *Copitarsia*
- Especie : *C. decolora* (Guenée, 1852)

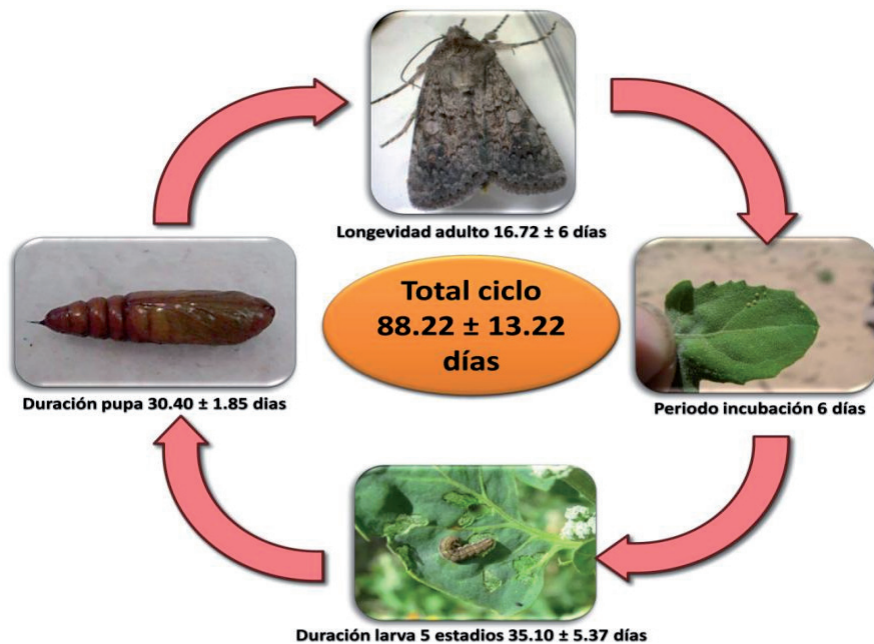
Sinonimias dadas por Simmons *et al.*, 2004  
*Copitarsia turbata* Hampson 1906

### Ciclo biológico de *Copitarsia decolora*

Según Moreno y Serna (2006) *C. decolora* demora un promedio de  $71,50 \pm 7,22$  días de huevo hasta la emergencia de los adultos cuando son criados en invernadero a una temperatura de  $17,72^{\circ}\text{C}$  y  $65,26\%$  de humedad relativa.

La longevidad del macho es de 18,44 días y de la hembra 15 días. Cada hembra coloca unos 1000 huevos.

De acuerdo a la Fig. 4, el ciclo biológico de *C. decolora*, de huevo a adulto (incluido su longevidad) tiene una duración de  $88,22 \pm 13,22$  días.



**Figura 4.** Ciclo biológico de *Copitarsia decolora*



### *Agrotis ipsilon*

Las larvas de *Agrotis ipsilon*, conocidas comúnmente como gusanos de tierra o gusanos cortadores se encuentran ampliamente distribuidas en todo el mundo y particularmente en el área andina donde son consideradas plagas de varios cultivos (Artigas 1994; Pastrana 2004). La larva vive enterrada en el suelo, donde construye una celda protectora. Al crepúsculo y durante la noche salen del mismo a alimentarse de tallos, hojas y raíces de plantas jóvenes. Las larvas de los primeros estadios son principalmente defoliadoras y en los últimos estadios cortadoras. Pueden pasar el verano como larva, fenómeno biológico conocido como diapausa estival. La pupación se realiza en la misma celda en el suelo. Los adultos pueden emerger en casi todo el año, pero principalmente en otoño. El invierno el insecto puede pasar como larva o pupa (Artigas 1994).

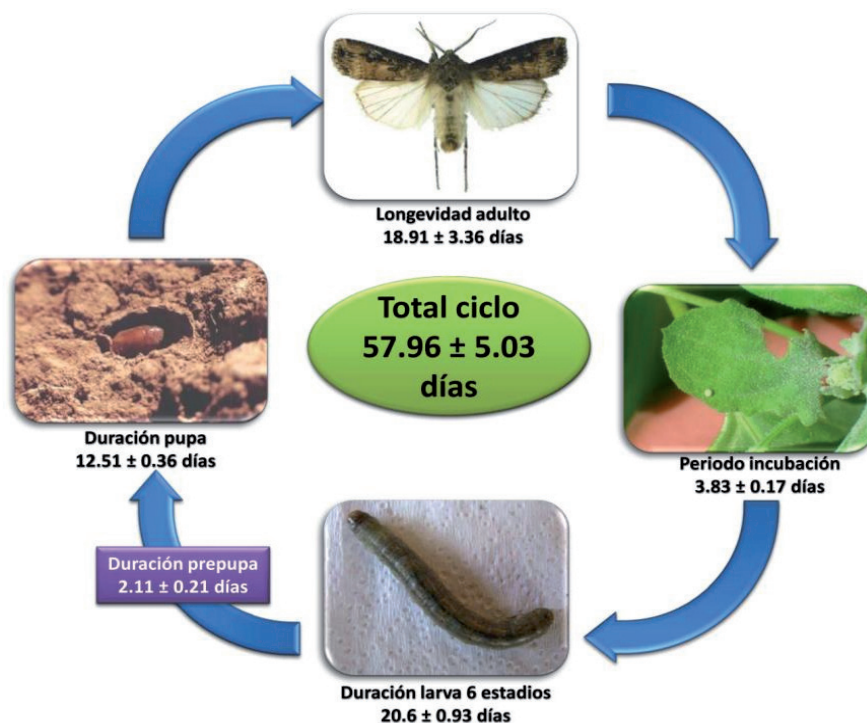
### Clasificación taxonómica

*Agrotis ipsilon* tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Clase	: Insecta
Orden	: Lepidóptera
Familia	: Noctuidae
Género	: <i>Agrotis</i>
Especie	: <i>A. ipsilon</i> Hufnagel,

### Ciclo biológico de *Agrotis ipsilon*

La Figura 5 muestra la duración de los estados de desarrollo de *A. ipsilon* según Blenk *et al.* 1985 criados a 27°C, 65-75 % de humedad relativa y un fotoperiodo 14:10. Según la misma figura, los huevos eclosionan en  $3.83 \pm 0.17$ , el periodo larval dura  $20.6 \pm 0.93$  días, el de prepupa  $2.11 \pm 0.21$  días, el de pupa  $12.51 \pm 0.36$  días y el adulto vive  $18.91 \pm 3.36$  días totalizando su ciclo en  $57.96 \pm 5.03$  días.



**Figura 5.** Ciclo biológico de *Agrotis ipsilon*

### **Daños causados por larvas del Complejo Noctuido.**

Los insectos adultos no causan daño a los cultivos de quinua, estos se alimentan del néctar de las flores y secreciones azucaradas que secretan algunas plantas como la thola (*Parastrephia lepidophylla*, *P. lucida*), botón de oro (*Hymenoxis robusta*), kiswara (*Polylepis tarapacana*) y otros.

El tipo de daño causado por el complejo noctuido es variado, depende principalmente de la especie de noctuido, del estado fenológico de la planta y del estado de la larva. Las larvas de *Agrotis* cortan las

plántulas a la altura del cuello de la plántula, pero también pueden comportarse como defoliadores.

Bajo las condiciones del altiplano boliviano, las larvas de *Helicoverpa* y *Copitarsia* pueden estar presentes durante todo el ciclo vegetativo del cultivo causando daños múltiples. Las larvas recién eclosionadas minan la inflorescencia en formación causando ramificaciones en la planta de quinua (Fig. 6), en estas ramas se formarán panojas de menor tamaño. Durante la fase de desarrollo de la planta y cuando las larvas son más grandes se comportan como defoliadores (Fig. 7).



**Figura 6.** Larvas de *Helicoverpa quinoa* dañando la panoja en formación.

Durante la fase fenológica de floración y madurez fisiológica del cultivo, las larvas producen importantes daños al taladrar el raquis de las panojas (Fig. 8), ocasionando su caída o al consumir los granos en formación. En consecuencia los



**Figura 7.** Larvas de *Copitarsia incommoda* defoliando plantas.

mayores daños de estas especies de noctuidos son ocasionados en la fase de grano lechoso o grano masoso que es cuando actúan como consumidores de grano (Fig. 9), impactando directamente sobre el rendimiento.



**Figura 8.** Larvas de *Copitarsia incommoda* dañando el raquis de la panoja



**Figura 9.** Larvas de *Helicoverpa quinoa* alimentándose de granos de quinua

## Componentes para el manejo del Complejo Noctuido.

En el ámbito mundial se reconocen dos mercados de la quinua, el que demanda quinua proveniente de la producción orgánica y el que proviene de la producción convencional. Esta diferencia tiene implicancias en el manejo de las fincas, del cultivo y en el uso de bioinsumos (ver Anexo 1). A continuación se describen los componentes recomendados para el manejo del complejo noctuido.

### Monitoreo de la presencia de larva.

Para el éxito en el manejo de las plagas es muy importante el monitoreo y cuantificación de las mismas, información que ayuda a tomar decisiones del momento oportuno y tipo de medida de control que se debe implementar.

Dos parámetros utilizados al muestrear plagas son la “incidencia” y “severidad”. La incidencia es el número de plantas con individuos de la plaga sobre el total de plantas evaluadas (porcentaje). La severidad es el número de individuos de la plaga por planta evaluada. Estos datos le permiten al agricultor definir niveles de daño y determinar la necesidad de implementar medidas de control para detener la severidad de la plaga. En caso de la quinua se recomienda muestrear 10 plantas por hectárea y si el número promedio de larvas por planta es mayor a uno se recomienda aplicar algún método de control. Son pocos los trabajos sobre este tema, pero es fundamental para decidir o no la aplicación de algún método de control.

### Rotación de cultivos.

La rotación de cultivos es una práctica que se realiza con el propósito de evitar el agotamiento de la fertilidad de los suelos y romper el ciclo biológico de las plagas. Tomando en cuenta que las mariposas nocturnas pasan el invierno en estado de pupa, la rotación de cultivos, que obliga a una remoción del suelo para implantar un nuevo cultivo, deja expuestas a las pupas al ataque de los pájaros y otros predadores.



**Figura 10.** Trampa luz utilizada en la captura de insectos adultos del complejo noctuido

### Uso de trampas luz.

La trampa luz es un dispositivo que atrae a los insectos adultos de mariposas nocturnas y en menor grado a polillas para capturarlos y matarlos. Básicamente consiste en una fuente de luz clara y de un mecanismo de captura que contiene agua con un poco de detergente para romper la tensión superficial e impedir la fuga de los insectos (Fig. 10).

Una desventaja del uso de la trampa luz es que atrae y captura una gran diversidad de mariposas nocturnas, muchas de las cuales no son plagas. Por ello para que las trampas luz funcionen como un dispositivo de toma de decisiones se debe tener conocimiento de las especies plagas que son capturadas en dichas trampas.

### Uso de trampas con feromonas.

En los últimos años, en Bolivia, se ha incorporado dentro la estrategia de manejo de plagas el uso de trampas con feromona sexual. (Fig. 11).





**Figura 11.** Prototipo de trampa cebada con feromona sexual para *Helicoverpa quinoa*

Las feromonas sexuales fueron sintetizadas en un trabajo colaborativo entre los entomólogos de la Fundación PROINPA y la Empresa Pherobank de Holanda. Para la síntesis de dichas feromonas se realizaron crías de los insectos, se obtuvieron pupas y se enviaron glándulas genitales a Pherobank.

En esta empresa, por métodos ya establecidos sintetizaron protoferomonas y en un trabajo de ida y vuelta entre Bolivia y Holanda se optimizaron las feromonas. Actualmente se cuenta con feromonas para *Helicoverpa quinoa*, *Copitarsia incommoda* y *Agrotis andina*.

Las feromonas sexuales son secreciones glandulares de las hembras que causan reacciones específicas de atracción en machos de la misma especie.

Las feromonas pueden ser utilizadas para el monitoreo de las plagas, para el control de insectos adultos o para causar confusión en el proceso de apareamiento.

Una de las ventajas del uso de feromonas es que son específicas, es decir atraen y capturan a los individuos a los cuales están dirigidas. No causan daño al medio ambiente, son aceptados en la producción orgánica y actúan en forma permanente por al menos tres meses.

#### **Uso de bioinsecticidas y ecoplaguicidas.**

Los bioinsecticidas y ecoplaguicidas se utilizan generalmente en la producción orgánica, son biodegradables y no dañan el medio ambiente.

Los bioinsecticidas y ecoplaguicidas recomendados para el control de las larvas de mariposas nocturnas se detallan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Bioinsecticidas y ecoplaguicidas recomendados para el control de las larvas de ticonas.

<b>Bioinsecticidas</b>	<b>Dosis/20 litros</b>	<b>% de eficiencia</b>
<b>Ingrediente activo</b>		
<i>Bacillus thuringiensis</i>	90 gr	63
Espinosad (*)	3 gr/litros	93.5
Caldo sulfocálcico	500 cc	35

\*Producto registrado para producción orgánica



Para la producción orgánica de quinua en Bolivia, la Fundación PROINPA ha desarrollado una estrategia de manejo de plagas que es implementada en miles de hectáreas con bastante éxito. El enfoque de la estrategia de manejo del “complejo noctuidae o complejo ticonas” se basa en: el monitoreo de larvas y adultos, tratamientos preventivos, alternancia de tratamientos (principios activos y modos de acción), aplicaciones oportunas, utilización de coadyuvantes y uso seguro de bioinsumos. Los componentes del manejo integrado son los siguientes:

- Instalación de trampas con feromonas, la instalación de cuatro trampas por hectárea al interior de la parcela (con una distancia de al menos 25 m entre sí) permitirá identificar el inicio de la presencia de los adultos y el inicio del periodo de oviposición. En zonas donde la población de noctuides es todavía baja, el uso de las cuatro trampas/ha permite mantener las poblaciones de larvas en niveles que no causen daños significativos (5 al 10% de daño).
- Inspección de campo, se deben realizar visitas de inspección periódicas en al menos cuatro etapas del desarrollo del cultivo (6 hojas verdaderas, inicio de panojamiento, formación de grano y grano lechoso). En cada inspección se deben muestrear al menos 10 plantas al azar por hectárea. Si se observan la presencia de huevos y/o larvas de primeros estadios en 20% de plantas evaluadas se recomienda realizar aplicaciones preventivas, en caso de observarse larvas de estadios más avanzados o en mayor incidencia se recomienda la aplicación de tratamientos de control.
- Aplicación de tratamientos preventivos, se recomienda la aplicación del caldo sulfocálcico, cuyo modo de acción de contacto (afecta el sistema nervioso central del insecto) permite un buen control de huevos y larvas de primeros estadios. Además éste producto tiene un efecto repelente hacia a los adultos protegiendo al cultivo por al menos 15 días de nuevas posturas.

Aplicación de tratamientos de control, se recomienda un tratamiento de control al inicio de formación de panoja, en éste período fenológico es muy importante la protección contra ésta plaga, su daño provoca la proliferación de ramas laterales dando lugar a dificultades de manejo del cultivo y menor rendimiento. Cuando se observa presencia

de al menos una larva por planta se recomienda la aplicación de Spinosad. Otro momento de cuidado es la que corresponde al estado fenológico de grano lechoso que es el momento en que las larvas comienzan a alimentarse de los granos en formación y pueden ocasionar daños económicos considerables. En éste momento es importante realizar la inspección de campo, si se observan dos larvas de tercer estadio o superiores por panoja, se recomienda la aplicación del Spinosad que es un eco-insecticida de alta eficiencia (>93%), cuyo modo de acción es de contacto e ingestión, permitiendo un eficiente control de larvas y un mínimo efecto en la entomofauna benéfica presente.

- Alternancia de tratamientos, por principios del MIP y con la finalidad de evitar la aparición de poblaciones resistentes, es recomendable practicar la alternancia de tratamientos, es decir alternar la aplicación de bioinsecticidas tomando en cuenta principios activos y modos de acción diferentes, evitando la aplicación de más de dos veces continuas un mismo producto por ciclo de cultivo.
- Uso de coadyuvantes, por las características del cultivo de la quinua de presentar gran cantidad de oxalatos en las superficies de hojas, tallos y panojas que dificultan la adherencia de los productos, es muy importante la aplicación de un adherente como el Aceite Agrícola Vegetal, que actúa como agente dispersante, mejora la cobertura de aplicación y evita la formación de gotas grandes. La aplicación del Aceite Agrícola asegura la eficiencia del producto.

### **Producción Convencional.**

El uso de insecticidas de síntesis química no está permitido en la producción orgánica, pero es utilizado en la producción convencional del cultivo de la quinua. Las ventajas de estos insecticidas son que presentan un control rápido, eficiente y con un menor costo, sin embargo como se conoce en el largo plazo da lugar a un efecto negativo en la población de insectos benéficos, medio ambiente, la salud de los agricultores.

Los componentes y estrategias descritos para controlar las larvas del complejo noctuido en el marco de la producción orgánica son válidos para la producción convencional sustituyendo los ecoinsecticidas por insecticidas químicos.

Los productos más utilizados en Bolivia para la producción convencional son del grupo de los Piretroides: Cipermetrina y Lambda-cyhalotrina.

### 1.1. El Complejo Polilla.

La polilla de la quinua corresponde al género *Eurysacca*, familia Gelechiidae, orden Lepidoptera. Actualmente se reconocen más de 20 especies del género *Eurysacca*, de las cuales tres de sus especies, *Eurysacca melanocampta*, *Eurysacca quinoa* y *Eurysacca media*, son reportadas como importantes plagas del cultivo de la quinua (Povolný 1997; Lamborot, et al 1999; Rasmussen, et al 2001a; Rasmussen, et al 2003; Saravia y Quispe 2003; PROINPA 2008; Valoy, et al 2011).

Estas especies de polillas se distribuyen a lo largo de la eco-región andina, que se caracteriza por tener hábitats áridos y semiáridos. La presencia de *E. melanocampta* está registrada en toda las zonas agroecológicas de la región andina donde se produce quinua, comprendida entre 1900 y 4350 msnm, desde Argentina y Chile en el sur hasta Colombia en el norte (Povolný y Valencia 1986; Povolný 1990 y 1997; Lamborot, et al 1999; Rasmussen, et al 2003; Valoy, et al 2011). En cambio, *E. quinoa*, tiene aparentemente una distribución más limitada, hasta la fecha, ha sido reportada sólo en Bolivia y Perú (Povolný 1997; Rasmussen, et al 2001b; PROINPA 2008) y *E. media* ha sido reportada como plaga de la quinua en Chile y Argentina (Lamborot, et al 1999; Valoy, et al 2011).

A continuación se describen las principales características de *E. melanocampta* y *E. quinoa*, que son las especies que mayor perjuicio económico causan a los agricultores de las zonas agroecológicas del altiplano y los salares que produce más del 80% de la producción mundial.

#### ***Eurysacca melanocampta*.**

La polilla de la quinua *Eurysacca melanocampta* es un microlepidóptero descrito en 1917 por el entomólogo inglés Edward Meyrick, de muestras procedentes del Perú, como *Phthorimaea melanocampta*. Posteriormente, fue identificado como *Gnorinoschema melanocampta* y *Scrobipalpula melanocampta* (Ortíz y Zanabria 1979) y actualmente ha sido clasificada como *E. melanocampta* Meyrick (Ojeda y Raven 1986), nombre técnico admitido para esta especie

(Sánchez y Vergara 1991; Avalos 1996).

Las larvas de *Eurysacca* han recibido diferentes denominaciones de acuerdo al idioma, por ejemplo en español se las conoce como “polilla de la quinua” y “pegador de hojas”, en aymara como “kcona kcona”, “qh’una qh’una” y en quechua como “kjako”, “kjaco curo”, que significa moedor por su hábito de moler el grano de quinua (Saravia y Quispe 2003; PROINPA 2008).

Como ya se mencionó anteriormente, las larvas de *E. melanocampta* se constituyen en una de las plagas más importantes del cultivo de la quinua en la eco-region andina, particularmente en las zonas agroecológicas de los salares, el altiplano y los valles interandinos. Esto no significa que no esté presente en los agroecosistemas de la costa y los yungas en la medida que el cultivo se extienda en estas zonas, lo más probable es que de esta polilla se constituya en un problema importante.

En estas zonas *E. melanocampta*, ha sido reportada consumiendo plantas de varias especies de la familia Chenopodiaceae: quinua (*Chenopodium quinoa*) y cañahua (*C. pallidicaule*), así como varios parientes silvestres. También ha sido observada en *Vicia faba* (haba), *Lupinus mutabilis* (tarwi) y *Senecio* spp., las cuales podrían constituirse en plantas hospederas alternantes de *E. melanocampta*. Existen registros en Colombia y Perú de su presencia en el cultivo de papa; sin embargo, no tendrían importancia económica (Povolný 1979; Povolný y Valencia 1986).

#### **Clasificación taxonómica.**

La clasificación taxonómica de la polilla de la quinua es la siguiente:

Clase: Insecta

Orden: Lepidoptera

Familia: Gelechiidae

Género: *Eurysacca*

Especie: *Eurysacca melanocampta* (Meyrick, 1917)

#### **Ciclo biológico de *Eurysacca melanocampta*.**

La polilla de la quinua es una especie con metamorfosis completa, durante su vida pasa por cuatro estados: adulto, huevo, larva y pupa. La duración de cada estado varía en función de las condiciones de cría. Bajo condiciones de campo del altiplano boliviano, se reportan dos a tres

generaciones durante el periodo de cultivo que comprende desde septiembre a abril.

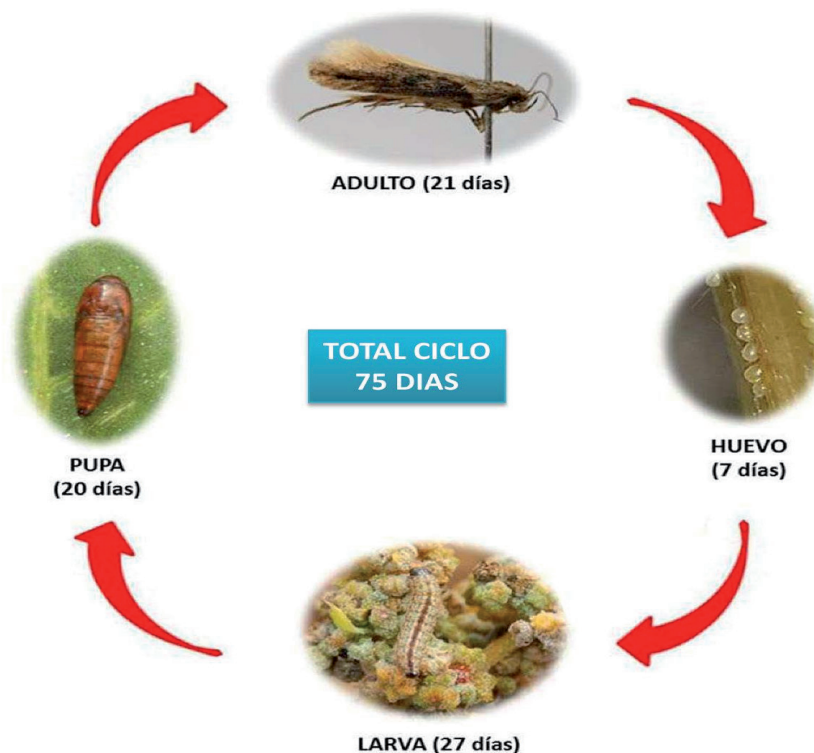
Recientemente, se ha comprobado que un gran porcentaje de las polillas de la segunda generación pasan el periodo invernal como adultos en diapausa refugiados particularmente en las matas de paja brava, un porcentaje menor pasa el periodo invernal en estado de pupa. Al mejorar las condiciones climáticas del medio ambiente, con la llegada de la primavera, también termina la diapausa de las polillas adultas.

La infestación de la polilla a los campos de quinua ocurre cuando la polilla adulta emerge de pupas localizadas en el suelo, y los adultos salen de la diapausa. Las polillas hembras ovipositan sobre la parte inferior de las hojas y/o entre los glomérulos de la panoja. La mayoría de los huevos eclosionan luego de una semana de maduración para dar paso a larvas que pasan por cinco estadios.

La literatura referente a este tema indica que la primera generación de polillas se registra de noviembre a diciembre, periodo en el cual la larva

vive entre las hojas y el tallo de la quinua, donde defolia y enrolla sus hojas para alimentarse y protegerse (formando una estructura similar a un estuche, llamado “k’epicha”), mientras que la segunda y tercera generación se presenta de marzo a abril/mayo. La larva de la polilla vive entre los glomérulos al interior de la panoja de la quinua donde se alimenta de los granos y se protege de las perturbaciones (clima, insecticidas, enemigos naturales, etc.).

En condiciones de laboratorio ( $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ,  $60 \pm 5\%$  HR y 12 horas luz de fotoperiodo), el ciclo biológico se reduce significativamente de 132 días registrado a nivel de campo a 75 días, (Fig. 12) (Quispe 2002). Al respecto, estudios realizados por Flavio (1997) muestran que el ciclo biológico de *E. melanocampta* es solo de 28 días si son criados a  $24^\circ\text{C}$  y de 56 días si son criados a  $22^\circ\text{C}$ , mostrando de esta manera que el ciclo biológico de esta especie varía con la temperatura. Este mismo autor determinó que el máximo número de huevos por hembra es de 300.



**Figura 12.** Ciclo biológico de *Eurysacca melanocampta* (Quispe 2002)

### *Eurysacca quinoae*.

*Eurysacca quinoae* fue descrita y reportada de especímenes provenientes de La Paz, Bolivia por Povolný en 1997 como una plaga del cultivo de la quinua. En la última década, la ocurrencia de esta plaga ha añadido alguna confusión sobre la verdadera identidad de las especies de polillas que atacan el cultivo de la quinua en las zonas agroecológicas del salar y el altiplano. La confusión se centra en la dificultad de reconocer en campo de las especies locales, en estado de huevo, larva y pupa, aunque en estado adulto, si es posible diferenciarlos.

Por otro lado, una característica particular de *E. quinoae* es su especialidad en cuanto a hospedero porque hasta la fecha ha sido reportado tanto en Perú como en Bolivia consumiendo únicamente quinua.

#### Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la polilla de la quinua es la siguiente:

Clase : Insecta  
Orden : Lepidóptera  
Familia : Gelechiidae

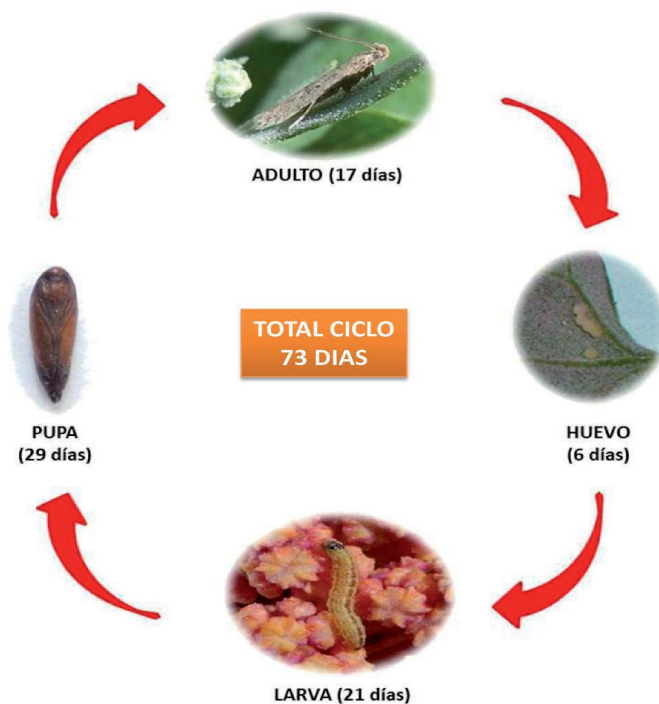
Género : *Eurysacca*

Especie : *Eurysacca quinoae* Povolný 1997

#### Ciclo biológico de *Eurysacca quinoae*.

*E. quinoae* al igual que *E. melanocampta*, durante su vida pasa por cuatro estados: huevo, larva, pupa y adulto. La polilla adulta de *E. quinoae* emerge de las pupas ubicadas en el suelo, aunque también pueden encontrarse en la panoja en formación (inflorescencia). Poco después de la emergencia las polillas se aparean y las hembras ponen huevos, principalmente en la parte inferior de las hojas o en la inflorescencia.

Normalmente los huevos eclosionan en 5 -7 días y las larvas inmediatamente comienzan a alimentarse de las hojas (Rasmussen 2006) para posteriormente consumir el grano de quinua en formación, larvas que al llegar a su quinto estadio empupan en el suelo al interior de una cámara pupal, para luego emerger el adulto de la polilla. Según PROINPA (2014), el ciclo de vida de *E. quinoae* puede alcanzar  $73 \pm 10.8$  días (Fig. 13) en condiciones de laboratorio con  $20 \pm 3$  °C,  $60 \pm 5\%$  HR y 12 horas luz de fotoperiodo.



**Figura 13.** Ciclo biológico de *E. quinoae* en condiciones de laboratorio.



Al igual que *E. melanocampta*, *E. quinoa*, en la ecoregión andina de Perú y Bolivia, registra dos a tres generaciones dependiendo de las condiciones climáticas (Zanabria y Banegas 1997; Mujica, *et al* 1998). Mujica *et al.* (1998) y Avalos (1996) indican que la primera generación se encuentra desde noviembre a diciembre, mientras que la segunda y tercera generación se encuentran desde marzo a mayo / junio tanto en el altiplano de Perú como en Bolivia. La distribución de ambas especies de polilla de la quinua no es uniforme en la eco-región andina. Según Rasmussen *et al.* (2003) y Delgado (2005), en el altiplano peruano están presentes ambas plagas existiendo una predominancia de *E. quinoa* en comparación de *E. melanocampta* en un 98% en la población de larvas colectadas de la segunda época de ataque.

En Bolivia *E. quinoa* es la más abundante, registrándose una predominancia del 70–90%, en la zona agroecológica del altiplano, en cambio en la zona de los salares no se ha registrado *E. melanocampta*, tanto en larvas colectadas en el primer periodo de ataque (noviembre/diciembre) como en el segundo (febrero/mayo).

El comportamiento larval de *E. quinoa* es similar a *E. melanocampta*, en los dos periodos de ataque, observándose entre noviembre y diciembre (primer periodo) a larvas de *E. quinoa* pegando hojas y formando estructuras a manera de estuche donde se protegen durante el día y por la noche salen del refugio para alimentarse de hojas de quinua provocando un daño indirecto al cultivo.

En cambio, entre febrero a mayo (segundo periodo) larvas de *E. quinoa* abundan en las panojas de quinua donde se alimentan de los granos tiernos y maduros de quinua, causando un daño directo al cultivo por consumir el producto que se comercializa.

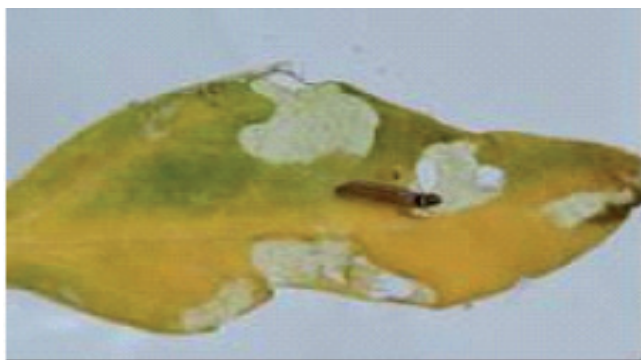
En el altiplano boliviano se ha observado que *E. quinoa* al igual que *E. melanocampta* pasa el periodo invernal en estado adulto (polilla) refugiado en la vegetación nativa (paja y thola) que abunda en este periodo del año.

#### **Daños causados por las larvas de polilla.**

Larvas de *E. quinoa* y *E. melanocampta* inicialmente se encuentran entre las hojas apicales de las plantas en el estado fenológico de ramificación (Fig. 15). El daño aquí ocurre sobre todo en la panoja en formación. Sin embargo, el mayor daño es observado entre el periodo de formación de grano y madurez fisiológica donde las larvas se alimentan principalmente de las hojas tiernas si están en los primeros estadios y de los granos inmaduros y maduros si están en los últimos estadios (Fig. 16). (Mujica, *et al* 1998 y Rasmussen, *et al* 2003).

El efecto nocivo de la polilla de la quinua se expresa en dos niveles: daño larval indirecto y daño larval directo sobre la planta; en el primer caso, la capacidad fotosintética de la planta se reduce, larvas de la primera generación se alimentan del parénquima de las hojas, pegan hojas y brotes tiernos y destruyen inflorescencias en formación.

En cambio, las larvas de la segunda generación destruyen inflorescencias formadas, granos lechosos, pastosos y maduros de quinua que se refleja en la disminución del rendimiento en calidad y cantidad del grano entre 15 y 60% (Quispe 1979; Ortíz *et al.* 1979; PROINPA 2008). Esta última generación alcanza una tasa de crecimiento porcentual de 30 a 35 (Ortíz 1993), habiéndose registrado más de 250 larvas de polilla por planta (Saravia y Quispe, 2003). Medir las pérdidas es difícil, generalmente, se fundamenta en apreciaciones por expertos y métodos experimentales.



**Figura 14.** Daño en hoja causado por *E. melanocampta* y *E. quinoa* **Figura 15.** Daño en panoja causando por *E. melanocampta*

## Componentes para el manejo del complejo polilla de la quinua.

La polilla de la quinua es la especie más común y frecuente en los cultivos de quinua de las zonas agroecológicas de los salares, el altiplano y los valles, donde por el incremento de las superficies cultivadas ha alcanzado niveles de gravedad, lo que exige aplicar medidas de control para evitar daños económicos considerables.

Los fundamentos y la estrategia descrita para el manejo del complejo noctuideo, en el marco de la producción orgánica y convencional, son válidos para el manejo del complejo polilla con algunas variantes en cuanto a las épocas y número de aplicaciones. Por ejemplo en la zona Agroecológica de los Salares, las medidas para el manejo de esta plaga empiezan a partir de la fase fenológica de formación de grano, en la que ocurren abundantes posturas de huevos y presencia de larvas de primeros estadios, que si no son controlados oportuna y adecuadamente derivan en altas poblaciones del insecto, por lo cual es recomendable realizar aplicaciones preventivas con productos que tengan alta eficiencia en el control de huevos y larvas de primeros estadios, este es el caso del sulfocalcico para la producción orgánica, que tiene una eficiencia mayor al 80%.

En esta zona agroecológica, la fase de formación de grano se presenta entre los meses de enero y febrero dependiendo de la época de siembra o resiembra (una actividad común en esta zona por el fenómeno de enterrado de plántulas por efecto de los fuertes vientos). Si la población de larvas sobrepasa el umbral de daño económico (3 a 6 larvas por planta en un muestreo de 10 plantas por hectárea), se recomienda el uso del Spinosad (un ecoinsecticida registrado para la producción orgánica), que presenta una eficiencia de control mayor al 90 %.

En la zona agroecológica del altiplano, generalmente se presentan dos generaciones más o menos bien diferenciadas, una en la fase fenológica de despunte de panoja y otra en la fase de formación grano, en consecuencia. En esta zona es recomendable implementar medidas de control en estas fases críticas del crecimiento de las plantas, utilizando

ecoinsecticidas o insecticidas dependiendo del destino de la producción.

En las zonas agroecológicas de los salares y el altiplano es frecuente que se presenten simultáneamente ambas plagas (larvas de polilla y complejo noctuideo) en la fase de formación de grano, por lo que se recomienda combinar ambas estrategias de control.

### 1. Las Enfermedades en el Cultivo de la Quinua.

La mayor parte de las enfermedades que afectan al cultivo de la quinua están ocasionadas por hongos, en menor número por bacterias, nematodos y virus. La incidencia y severidad varían en función a la variedad, estado fenológico y condiciones ambientales. En términos generales las enfermedades han recibido poca atención, los primeros reportes están contenidos en el libro La Quinua y la Kañiwa del año 1979 (Tapia, *et al* 1979).

La enfermedad más importante y conocida a nivel global es el mildiu, aunque existen otras de menor importancia como: damping off, moho verde, mancha foliar, podredumbre marrón del tallo, mancha ojival, mancha bacteriana, ojo de gallo, nematodos y virosis. En general, estas enfermedades no son consideradas de importancia económica, pero debido a la rápida expansión del cultivo en la zona andina, junto a efectos del cambio climático, eventualmente estas enfermedades pueden tornarse prevalentes. Por otro lado, debido al desarrollo del cultivo en diferentes países del mundo, con características agroecológicas y ambientales diferentes, es probable que se presenten nuevas enfermedades. En este capítulo se abordará únicamente al mildiu de la quinua.

#### 3.1. El Mildiu.

La enfermedad más importante del cultivo de la quinua a nivel mundial es el mildiu (Fig.16), ocasionada por el oomycete *Peronospora variabilis*<sup>1</sup>.

1 Anteriormente denominado como *Peronospora farinosa* f.sp. *chenopodii* (Fr.) Fr., trabajos del 2008 y 2010 de Choi, *et al* han reclasificado la especie mediante técnicas moleculares utilizando las regiones intergénicas del ADNr.



**Figura 16.** Plantas de quinua severamente afectadas por mildiu

El mildiu fue reportado por primera vez en Perú en 1947, luego en varios países y continentes: Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú en Sud América; México, Canadá y Estados Unidos en Norte América; Portugal, Francia, Holanda, Inglaterra, Suecia, Italia y Dinamarca en Europa; India en Asia y Kenia en África (Danielsen, *et al* 2000; Choi, *et al* 2010; INIA 2012; Mújica, *et al* 2013). *P. variabilis* es un oomyceto de fácil dispersión (viento y lluvia), durante el desarrollo del cultivo las estructuras de diseminación son principalmente las esporas; en cambio, a la senescencia o ausencia de cultivo la enfermedad se disemina mediante oosporas (estructuras de reproducción sexual) que pueden estar adheridas a la superficie del grano o en el interior del rastrojo que se queda en el campo. Por lo tanto, la diseminación a cortas distancias es mediante esporas y a largas distancias bajo la forma de oospora.

El hecho de que en los últimos años exista un interés mundial por el cultivo de quinua, está

dando lugar a un movimiento intenso entre continentes y países de semilla que no siempre cumple estándares de sanidad, la probabilidad de mover granos de quinua con oosporas es muy alta (Danielsen, *et al* 2004; Testen 2012).

Podemos señalar con bastante certeza que el mildiu se hará presente en todos los lugares donde se cultive quinua, la incidencia y severidad será de mayor o menor grado en función de las variedades, el manejo y las condiciones ambientales. Las pérdidas que ocasiona el mildiu dependen de la fase fenológica de la planta en que es atacada y del grado de resistencia de la variedad. Cuando se cultivan variedades susceptibles y se presentan condiciones de clima favorables, particularmente alta humedad relativa, los efectos del mildiu son severos.

Si el ataque ocurre en fases iniciales de desarrollo de la planta, se puede perder completamente la producción; en variedades resistentes las pérdidas oscilan entre 20 y 40% (Danielsen, *et al* 2003) (Fig. 17).





**Figura 17.** Plantas afectadas por mildiu después de la emergencia (izq.) y plantas afectadas por la enfermedad en la fase de panojamiento (der.).

El principal efecto de la enfermedad sobre la planta es la reducción del área foliar fotosintéticamente activa (aparición de manchas cloróticas o necróticas en las hojas) causando defoliación parcial o total,

como se observa en la figura 18, atrofia en el desarrollo de la planta, reducción de tamaño de la panoja y menor rendimiento (granos pequeños y/o vanos).



**Figura 18.** Defoliación de plantas de quinua, variedad resistente (izq.) y variedad susceptible (der.).



Las condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad son alta humedad relativa (>80%) y temperaturas entre 18 a 22 °C, que favorecen la formación de las esporas y el crecimiento del micelio; sin embargo, estos procesos pueden interrumpirse al presentarse períodos prolongados de insolación y sequía. En zonas donde las plantas amanecen con una delgada capa de agua de rocío, es suficiente para que el patógeno pueda desarrollarse y provocar la enfermedad. También se ha observado que períodos con nubosidad, aunque no llueva, favorecen a la aparición de la enfermedad. En cambio, el desarrollo de la enfermedad es menos sensible a la temperatura, los procesos de infección pueden tener lugar en un amplio rango que oscila entre 0 a 25 °C.

Las opciones de manejo de la enfermedad están a su vez relacionadas con el tipo de producción (orgánica o convencional). Dentro de una producción convencional la disponibilidad de fungicidas de última generación permitirán controlar satisfactoriamente a la enfermedad, sí los productos son aplicados preventiva y oportunamente. En cambio, dentro de una producción orgánica se deberá considerar una serie de componentes que ayuden a mantener en niveles aceptables la severidad de la enfermedad, entre ellas la utilización de variedades resistentes, siembras tempranas, densidades bajas de siembra y biofungicidas aceptados por la certificación orgánica.

En la zona agroecológica de los valles interandinos donde la lluvia promedio es

de 500mm, necesariamente se requieren implementar medidas de control y además sembrar variedades resistentes o tolerantes. Debido al interés de sembrar quinua en otras zonas del mundo, el mildiu se constituirá en un factor restrictivo, principalmente en zonas con precipitaciones mayores a los 500 mm, donde ocurrirán ataques severos. La zona agroecológica de los salares es la principal zona de exportación de quinua de Bolivia, donde la precipitación promedio varía entre 200 a 250 mm. En esta zona, extremadamente seca, el mildiu no reviste mayor importancia, lo cual también favorece a la producción con certificación orgánica y además a la producción de semilla libre de enfermedades.

### **Síntomas.**

La enfermedad afecta principalmente el follaje (hojas) aunque también se pueden encontrar síntomas en tallos, ramas, inflorescencia y granos. Los síntomas iniciales aparecen en las hojas como manchas pequeñas de forma irregular cuya coloración puede ser clorótica o amarilla, rosada, rojiza, anaranjada o parda dependiendo del color de la planta (Fig. 19).

A medida que progresa la enfermedad éstas manchas se unen (coalescen), la hoja se torna clorótica y posteriormente se cae (defoliación). Si las condiciones son muy favorables para la enfermedad (alta humedad relativa, nubosidad y precipitación continua), la planta puede quedar enferma en casi la totalidad de sus hojas, defoliarse completamente y detener su crecimiento.



**Figura 19.** Manchas típicas ocasionadas por *Peronospora variabilis* que varían en su coloración según el color de la planta de quinua.

La esporulación del hongo se presenta en el envés de las hojas y su abundancia está relacionada a la resistencia o susceptibilidad de las variedades.

En los ecotipos susceptibles es frecuente observar una esporulación abundante como un micelio de color grisáceo (Figs. 20 y 21); en los ecotipos resistentes puede presentarse o no el micelio.



**Figura 20.** Esporulación grisácea abundante en el envés de la hoja de quinua.



**Figura 21.** Esporulación en el haz y el envés de una variedad roja.

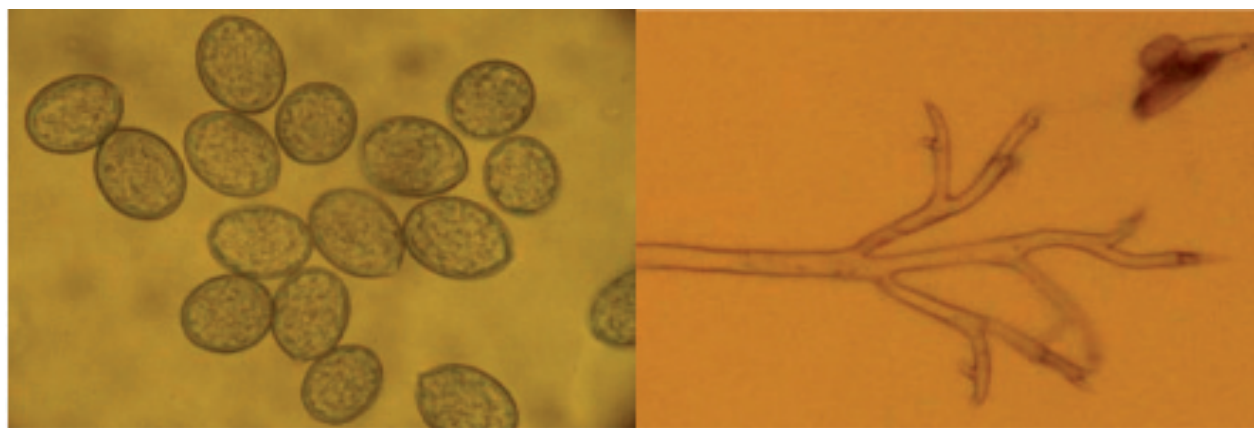
Cuando la enfermedad se presenta al inicio de formación de la panoja, se atrofia (crecimiento lento) el desarrollo de la misma y se afecta el llenado y el tamaño del grano. Si las condiciones climáticas son favorables durante la fase de grano masoso puede ocurrir el ennegrecimiento del grano. En ecotipos de grano grande (Quinua Real) se ha observado la reducción del tamaño del grano y la aparición de granos vanos; en cambio, en las variedades criollas y resistentes no se afecta el tamaño.

En esta etapa es cuando las oosporas se forman en la superficie del grano, constituyéndose en una importante fuente de inóculo inicial, si estos son utilizados como

semilla. Cuando la enfermedad se presenta pasada la floración puede ser confundida con la senescencia natural (amarillamiento generalizado) de las plantas, en esta etapa no se presentan pérdidas de importancia.

#### Descripción del patógeno:

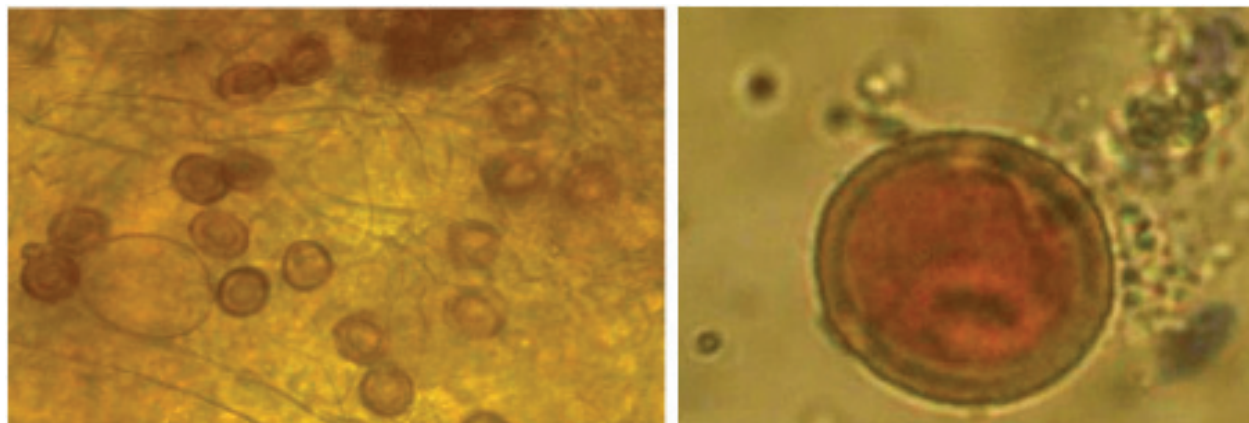
*Peronospora variabilis* (Choi, et al 2008 y 2010), es un parásito obligado biotrófico del grupo de los Oomycetes, familia Peronosporaceae y orden Peronosporales. *P. variabilis* posee los dos tipos de reproducción asexual y sexual. La fase asexual se caracteriza por presentar esporas de forma ovoide cuya germinación es directa, las hifas son cenocíticas y el micelio es dicotómico (Fig. 22).



**Figura 22.** Esporas (arriba) y micelio dicotómico de *Peronospora variabilis*

La reproducción sexual se caracteriza por la formación de la oospora (estructura sexual de sobrevivencia) en ausencia de hospedero. El patógeno es heterotálico, para que se forme la oospora se requiere la presencia de dos tipos de apareamiento, P1 y P2 (talos genéticamente distintos pero sexualmente compatibles), para que se forme el oogonio y el anteridio.

El oogonio crece a través del anteridio, permitiendo la fertilización y convirtiéndose en una oospora (estructura de paredes gruesas). Cuando las condiciones son favorables esta oospora germina y da lugar a la formación de una espora. Las oosporas pueden ser observadas mediante tinciones en el interior de las hojas y en la superficie de los granos (Fig. 23).



**Figura 23.** Oosporas de *Peronospora variabilis* en el interior de las hojas (arriba) y sobre la superficie de los granos (abajo).

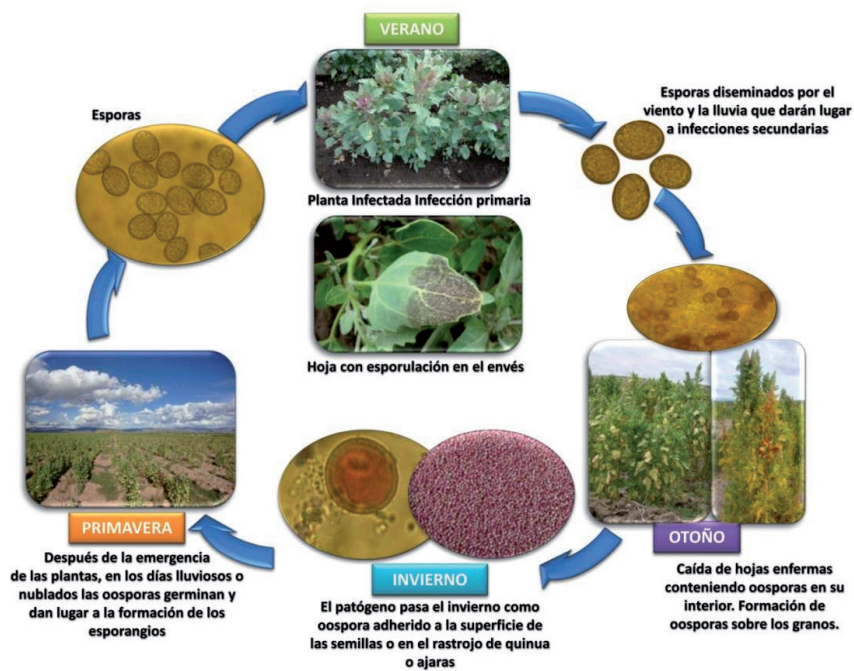


### Ciclo de la enfermedad.

La fuente de inóculo inicial son las oosporas que se encuentran en la semilla o en el rastrojo de campañas anteriores (Fig. 24), las oosporas se activan cuando se presentan las condiciones favorables óptimas (humedad relativa >80%), que estimulan su germinación y la formación de esporas. Cuando las esporas llegan sobre la hoja forman el tubo germinativo, el haustorio y el apresorio que le permite ingresar dentro de la hoja, después de cinco días se observa la decoloración del tejido acompañado de la esporulación.

Durante el desarrollo del cultivo, el proceso de infección es continuo, se suceden varias generaciones del patógeno que corresponden a la reproducción asexual (sólo se producen esporas) y por esto se lo considera como un patógeno policíclico.

Cuando las manchas comienzan a necrosarse, ocurre la reproducción sexual, aparecen los dos tipos de apareamiento y dan lugar a la formación de la oospora, estructura de conservación del patógeno por largos períodos en ausencia del hospedero.



**Figura 24.** Ciclo del mildiu de la quinua

### Epidemiología.

Cuando se habla de la epidemiología, se debe considerar los tres pilares de la enfermedad: patógeno (*P. variabilis*), hospedero (quinua) y condiciones medioambientales favorables.

En el caso del mildiu el factor más importante son las condiciones ambientales, donde se destacan la humedad (>80%) y las temperaturas frescas.

Estas son condiciones básicas para la germinación de oosporas y esporas, multiplicación y la diseminación de la enfermedad. Si las condiciones

ambientales favorables persisten por un período prolongado permiten la propagación policíclica.

Las esporas se diseminan principalmente por el viento, la lluvia también ayuda en la diseminación mediante el lavado en una misma planta o por salpicadura. También el rocío de las mañanas facilita a que el patógeno colonice y se establezca perfectamente en el interior de las hojas (Fig. 25). Pero si las condiciones de humedad bajan, las esporas se deshidratan y la esporulación desaparece.





**Figura 25.** Hoja con rocío a primeras horas de la mañana.

La principal fuente de inóculo son las oosporas, que han quedado adheridas a los granos de semilla de quinua y las que quedan en los residuos de cosecha en la parcela. Una fuente de inóculo inicial en la región andina son las quinuas silvestres (llamadas ajaras en Bolivia, ayara en Perú, quinua malla en Ecuador y quingüilla en Chile) que en mayor o menor grado son susceptibles a la enfermedad.

El hecho de que estas especies silvestres se encuentren en prácticamente todas las zonas agrícolas del mundo, se pueden constituir en una importante fuente de inóculo en las nuevas zonas de introducción del cultivo. La época de siembra también puede ser determinante para la aparición de la enfermedad, en las zonas donde se espera las primeras lluvias para la siembra, estas estimulan la germinación de las quinuas silvestres al mismo tiempo que las quinuas cultivadas, lo cual favorece el desarrollo de la enfermedad en estadios muy tempranos del cultivo.

### **Manejo integrado del mildiu de la quinua.**

El manejo del mildiu está en función a las zonas de producción y sus condiciones climáticas, las variedades y su tolerancia a la enfermedad, además del tipo de producción si es orgánico o convencional. En este sentido se proponen varias prácticas de control y su implementación estará en función a cada zona. Por otro lado, dado que la resistencia genética reviste una importancia central para el control del mildiu, se presenta un mayor desarrollo de este punto.

#### **Resistencia genética.**

La resistencia genética es una de las alternativas más eficientes para el manejo del mildiu, los agricultores cuentan con una variedad resistente a la enfermedad y la pueden remultiplicar por varias generaciones. Una variedad resistente requiere menos o ninguna aplicación de fungicidas, reduce el costo de producción y es más fácil integrarla con otros componentes de manejo del cultivo.

En zonas endémicas de la enfermedad como la zona agroecológica de valles interandinos es prácticamente indispensable el uso de variedades resistentes o parcialmente resistentes, de otra manera la enfermedad puede diezmar los cultivos. En la producción orgánica que restringe el uso de fungicidas sintéticos, y más bien se deben usar bio o ecofungicidas de menor efectividad en el control del mildiu, variedades con resistencia genética se constituyen en una gran alternativa.

En el caso de Bolivia, el mildiu es un factor restrictivo del cultivo en las zonas agroecológicas de valle y altiplano, por lo que se ha desarrollado un programa de mejoramiento basado en la gran diversidad genética existente en el país. Actualmente, se cuenta con variedades de diferente ciclo productivo (tardíos, semi-precoces y precoces), colores, tamaño, contenido de saponina y tipo de resistencia (susceptibles, parcialmente resistentes, hipersensibles y resistencia combinada).

El nivel de resistencia al mildiu puede estar gobernada por genes mayores (resistencia vertical), por genes menores (resistencia horizontal) y por la combinación de genes mayores y genes menores que dan lugar a una resistencia parcial o duradera. Estos genes de resistencia se encuentran en variedades tardías de quinua y en otras especies

Chenopodiáceas: (*Chenopodium hircinum*, *Ch. nuttalliae*, *Ch. petiolare*, *Ch. album* y *Ch. ambrosioides*).

Al momento de la selección, es importante considerar algunos criterios de evaluación como la fase fenológica en la cual aparecen los primeros síntomas (puntos, manchas, tamaño de las manchas, clorosis, etc.), esporulación (factor que determina o no el avance de la enfermedad) y la defoliación (Bonifacio 1997).

El tipo de resistencia más común es la resistencia horizontal (también conocida como resistencia parcial, de genes menores, cuantitativa o duradera). El nivel de resistencia varía desde susceptible a resistente según el número de genes de resistencia presentes en la variedad. Además, la resistencia está relacionada con el ciclo de la variedad, variedades de ciclo largo tienen mayor resistencia al mildiu que las variedades precoces, de la misma forma, las variedades susceptibles presentan granos más grandes que las variedades resistentes.

La selección de variedades con características de resistencia, ciclo precoz y grano grande es factible obtener mediante el mejoramiento genético. La resistencia vertical (conocida también como resistencia hipersensible, resistencia de genes mayores, resistencia no duradera o resistencia cualitativa) se caracteriza por una reacción rápida cuando la planta es infectada, aísla el sector afectado, que en las hojas se observan como puntos necróticos deteniendo el avance de la enfermedad. Este tipo de resistencia puede perderse en el tiempo por eso se la conoce como no duradera.

Algunos ecotipos de valle, accesiones de germoplasma y líneas de mejora presentan el tipo de resistencia vertical; sin embargo, variedades con este tipo de resistencia aún están en proceso de selección. Teóricamente, es posible combinar la resistencia vertical con la resistencia parcial, pero aún no se tiene variedades de quinua con resistencia combinada.

La resistencia adquirida se refiere a que la planta se torna resistente gracias a la interacción con medio ambiente (no es de tipo hereditario). En el caso de Bolivia la resistencia adquirida está relacionada con varios aspectos de manejo del cultivo, entre

ellos, siembra adelantada, nivel de fertilidad del suelo, longitud de horas luz y vigor de la planta. La planta adquiere resistencia al estar expuesta a mayor cantidad de horas luz en las primeras fases de su desarrollo y la buena nutrición de la planta. Para generar y aprovechar este tipo de resistencia, se debe tener suelos bien preparados, fertilizar y almacenar la humedad o disponer de riego para la siembra oportuna.

En las siembras tardías, la planta no está expuesta a mayores longitudes de horas luz, al contrario se desarrolla con horas de mayor nubosidad o inclusive de lluvia, por lo que la planta no adquiere resistencia y resulta susceptible. Por ello es recomendable que las siembras tardías se acompañen con medidas de control preventivas de la enfermedad y aplicación de fertilizantes.

Si consideramos, que los trabajos a nivel molecular han demostrado que las poblaciones de *P. variabilis* de Bolivia, Ecuador y Estados Unidos son idénticas, las fuentes de resistencia identificadas en Bolivia podrían servir de base a programas de mejoramiento de otros países.

En el caso de países donde la quinua no es originaria deben sembrar materiales resistentes de la región andina o caso contrario realizar hibridaciones de las variedades susceptibles adaptadas a su zona y combinarlas con otras variedades del lugar.

#### **Semilla de calidad.**

Por el hecho de que las oosporas se conservan y diseminan adheridas a la semilla, se debe obtener semilla de parcelas donde no se ha presentado la enfermedad. Es recomendable, en la producción convencional o cuando se traslada la semilla entre zonas, que la misma sea desinfectada. Algunas alternativas para este tratamiento son los siguientes fungicidas: CTC (mezcla de tres ingredientes activos: carbendazim, thiram y carbofuran), Acronis Top (Fipronil más Thiophanatemethyl y Pyraclostrobin), Dividend (Difeconazole) y otros.

Una alternativa orgánica es el uso del biofungicidas en base a microorganismos como *Trichoderma* spp., *Bacillus subtilis* u otros. Estos competirán con los patógenos que se encuentren sobre la superficie de la semilla además promoverán un mejor desarrollo radicular.

### Prácticas culturales.

Como se conoce, las plantas vigorosas toleran mejor el estrés y el ataque de enfermedades, en este sentido es recomendable realizar una buena preparación del suelo, la incorporación de abono orgánico y el uso fertilizantes.

En la agricultura orgánica se tiene muy buenos resultados con biofertilizantes foliares basados en ácidos húmicos, debido a que activan los procesos bioquímicos de las plantas (respiración, fotosíntesis y el contenido de clorofila) y además aportan nutrientes esenciales, vitaminas y oligoelementos que permiten que las plantas sean más vigorosas y por ende resisten mejor al ataque de enfermedades. Dado que la quinua es el único cultivo hospedero de *P. variabilis*, prácticamente todas las rotaciones de cultivos son aconsejables.

Es importante considerar, la fecha adelantada de siembra como una forma de escape a la enfermedad, evitando la coincidencia entre períodos de alta precipitación y las fases más sensibles a la enfermedad (a partir de la formación de las dos hojas verdaderas hasta el “inicio del panojamiento”).

La densidad de siembra es una práctica también importante para desacelerar o evitar el desarrollo de la enfermedad, esto dependerá de las condiciones climáticas de cada zona, el grado de resistencia de la variedad y el nivel de fertilidad del suelo. En lugares favorables a la enfermedad (humedad relativa de 80% o mayor) la distancia entre surcos no debería ser menor a 0.50 m y entre plantas 0.15 m.

También se debe tomar en cuenta el drenaje apropiado y la orientación de los surcos respecto del viento y a la pendiente del suelo, así como el método de siembra (en surcos, voleo-surco y en hoyos).

### Ecofungicidas.

Desde la antigüedad hasta nuestros días, el uso de las plantas para contrarrestar enfermedades relacionados a la salud humana, animal o para las plantas es reconocido. En la producción orgánica es muy aceptado porque no contamina el ambiente, no son tóxicos, no crea resistencia, son de bajo costo, se degradan rápidamente, etc.

Por todas estas ventajas varios países, han

recurrido al uso de extractos de plantas para aprovechar sus propiedades fúngicas en el control de enfermedades. En el caso específico del mildiu se ha tenido relativo éxito empleando extractos acuosos de cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) y el ajo (*Allium sativum*). Una vez identificada la especie correcta se formulan ecofungicidas y se los registran para su uso en la producción orgánica.

Al igual que los fungicidas sintéticos estos pueden ser utilizados en mezclas, se han realizado ensayos alternándolos con metabolitos producidos por hongos y bacterias benéficas.

Es imprescindible que estos preparados sean aplicados de manera preventiva o a la aparición de síntomas (5 a 10% de infección), adicionar un adherente al preparado (dentro de la producción orgánica se lo puede preparar en base a cactáceas) y es imprescindible mojar muy bien la planta. La ventaja del uso de plantas medicinales o silvestres, es que no dejan residuos tóxicos en el producto, en el aplicador ni en el medio ambiente; son de bajo costo, fáciles de conseguir y los mismos productores pueden elaborar sus fungicidas en forma artesanal.

### Referencias.

- Angulo, A; Weigert, G. (1975). Noctuidae (Lepidoptera) de interés económico del Valle del Ica, Perú: clave para estados inmaduros. Revista Peruana de Entomología. 18 (1): 98-103.
- Angulo A. y T. Olivares. (2009). La polilla *Copitarsia decolora*: revisión del complejo de especies con base en la morfología genital masculina y de los huevos (Lepidoptera: Noctuidae). Rev. Biol. Trop. Vol. 58 (2): 769-776, June 2010
- Angulo, A; Olivares, T. (2003). Taxonomic update of the species of *Copitarsia* Hampson 1906. (Lepidoptera: Noctuidae: Cuculliinae). Gayana Zoologica. 67 (1):33-38.
- AOPEB, Asociación de Organizaciones de Productores Ecológicos de Bolivia. (2002). Norma AOPEB para la Producción Ecológica en Bolivia. Serie de manuales técnicos. Comité técnico de normas de AOPEB. 8va. Ed. La Paz, Bolivia. 46 p.
- Artigas, JN. (1994). Entomología Económica. Ediciones Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 1: 1126 y 2: 943.

- Avalos, F. (1996). Identificación y dinámica poblacional de la polilla de la quinua *Eurysacca melanocampta*. Tesis de Ing. Agr. Facultad de Agronomía, UMSA. 121 p.
- Bonifacio, A. (1997). Mejoramiento de la quinua para resistencia a factores adversos en Bolivia. In: Primer Taller de PREDUZA en resistencia duradera en cultivos altos en la zona andina. Daniel Danial (Ed.). Proyecto de Resistencia Duradera en la Zona Andina, PREDUZA. Quito, EC. p. 75-78
- Blenk, R.G.; Gouger, R.J.; Gallo, T.S.; Jordan, L.K. y Howell, E. (1985). *Agrotis ipsilon*. In: Singh, R; Moore, R.R (Eds.). Handbook of insect rearing vol. II. Ed. Elsevier. 177-187.
- Castillo, E; Angulo, A. (1991). Contribución al conocimiento del género *Copitarsa* Hampson, 1906 (Lepidoptera: Glossata: Cucullinae). Gayana Zoológica 55(3):227-246.
- Choi, YJ; Denchev, CM; Shin, HD. (2008). Morphological and molecular analyses support existence of host-specific *Peronospora* species infecting *Chenopodium*. Mycopathology. no. 165:155-164.
- Choi, YJ; Danielsen, S; Lubeck, M; Hong, SB; Delhey, R; Shin, HD. (2010). Morphological and molecular characterization of the causal agent of downy mildew on quinoa (*Chenopodium quinoa*). Mycopathology. no. 169:403-412.
- Choquehuanca M. (2011). Ciclo biológico de *Copitarsia incommoda* walker plaga del cultivo de la quinua en condiciones de laboratorio. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. La Paz, Bolivia.
- Danielsen, S; Jacobsen, SE; Echegaray, J; Ames, T. (2000). Impact of downy mildew on the yield of quinoa. In Program Report 1999-2000. Lima, PE. p. 397-401
- Danielsen, S; Bonifacio, A; Ames, T. (2003). Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). Food Reviews International. 19 (1 y 2): 43-59
- Danielsen, S; Mercado, VH; Munk, L; Ames, T. (2004). Seed transmission of downy mildew (*Peronospora farinosa* f. sp. *chenopodii*) in quinoa and effect of relative humidity on seedling infection. Seed Sci Technol. no. 32:91-98.
- Delgado, P. (2005). Plagas y Enfermedades de la Quinua. En: Apaza V., P. Delgado. 2005. Manejo y Mejoramiento de Quinua Orgánica. Instituto nacional de Investigación y Extensión Agraria. INIA. Estación Experimental Agraria Illpa-Puno. pp 80-111. Puno-Perú.
- Flavio, T. (1997). Biología de la *Eurysacca melanocampta* Meyrick en laboratorio, Huancayo. Tesis Lic.. Huancayo, PE. Universidad Nacional del Centro.
- IBNORCA, Instituto boliviano de normalización y calidad. (2000). Agricultura ecológica –Norma básica. NB 907. La Paz, Bolivia. 24 p
- INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria, PE). (2012). Importancia del Cultivo de Quinua hacia el año Internacional 2013. (video conferencia). Cuzco, 25 de octubre de 2012.
- Lamborot, L; Guerrero, MA; Araya, JE. (1999). Lepidópteros asociados al cultivo de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow) en la zona central de Chile. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas. 25:203-207.
- Moreno, L; Serna, F. (2006). Biología de *Copitarsia decolora* (Lepidoptera: Noctuidae: Cucullinae), en flores cultivadas del híbrido comercial de *Alstroemeria* sp. Revista de la Facultad Nacional de Medellín. 59(1): 3257-3270.
- Mujica, A. (1993). Cultivo de quinua. Lima, PE. INIA.
- Mujica, A; Jacobsen, SE; Izquierdo, J; Marathee, JP. (1998). Prueba Americana y Europea de Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). Libro de Campo. Puno, PE. FAO, UNA-Puno y CIP-DANIDA. Capítulo 4.
- Mujica, A; Suquilanda, M; Chura, E; Ruiz, E; León, A; Cutipa, S; Ponce, C. (2013). Producción Orgánica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Sociedad Peruana para el Fomento y Competitividad de la Innovación Agraria-FINCAGRO. Puno, PE. p. 56, 59-61
- Ojeda D, Raven K. (1986). Contribución al estudio de los Gelechiidae (Lepidoptera) peruanos. Resúmenes. XXIX Convención Nacional de Entomología (Lima), p. 10.
- Ortiz, R; Zanabria, E. (1979). Plagas. En: Quinoa y



kañiwa, cultivos andinos, CIID. Bogotá, CO. Serie: Libros y Materiales educativos.

Ortiz, R. (1993). Insectos plaga en Quinua. Cultivos Andinos. FAO, Oficina Regional para las Américas. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro14/cap2.3.htm#Top>. Consultado el 15 noviembre de 2013.

Ortiz R. (2001). Insectos plaga en quinua. En Memorias Primer Taller Internacional sobre Quinua-Recursos Genéticos y Sistemas de Producción, 115-118. Lima, Perú.

Pastrana, J. A. (2004). Los lepidópteros argentinos. Sus plantas hospedadoras y otros sustratos alimenticios. 1ª Ed. Sociedad Entomológica Argentina, Buenos Aires, 350 p.

Povolný, D. (1979). On some little known moths of the family Gelechiidae (Lepidoptera) as pests of crops. Acta Universitatis Agriculturae, Facultas Agronomica, 27(2):139-165; [52 fig.]; 26 ref. View Abstract

Povolný, D. (1990). Gnorimoschemini of Peru and Bolivia (Lepidoptera, Gelechiidae). Steenstrupia. 16:153-223.

Povolný, D. (1997). *Eurysacca quinoae* sp.n. - a new quinoa-feeding species of the tribe Gnorimoschemini (Lepidoptera, Gelechiidae) from Bolivia. Steenstrupia. 22:41-43.

Povolný, D; Valencia L. (1986). Una palomilla de papa nueva para Colombia. In: Curso sobre control integrado de plagas de papa. Memorias. Bogotá, CO, CIP 33-35, 113.

PROINPA (Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos, BO), (2008). Informe Proyecto "Herramientas Para el Desarrollo del Manejo Integrado de Plagas en la Producción de Quinua Orgánica". Período nov. 2007-jun. 2008. Fundación AUTAPO, La Paz, BO. 53 p.

PROINPA (Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos, BO). (2013). Informe Anual 2012-2013 del Proyecto "Desarrollo y validación participativa de las innovaciones tecnológicas que mejoren las estrategias para manejo sostenible del sistema centrado en quinua en el Altiplano boliviano", Fundación McKnight. La

Paz, BO. 145 p.

PROINPA. (2014). Desarrollo del protocolo de cría de la polilla de la quinua *Eurysacca* spp. bajo condiciones de laboratorio. Informe de avance. Centro Quipaquipani, Regional Altiplano, Fundación PROINA. (no publicado).

Quispe H, (1979). Biología y comportamiento del minador pegador de hojas y destructor de panojas *Scrobipalpula* sp. (Lepidoptera, Gelechiidae) en quinua. Tesis Lic. Puno, PE. Universidad Nacional del Altiplano.

Quispe, R. (2002). Dosis de *Baculovirus phthorimaea* para el control biológico de *Eurysacca melanocampta* Meyrick en el cultivo de la quinua. Tesis de grado, Ing. Agronómica, Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz, Bolivia. 88p.

Quispe, R; Saravia, R. (2006). Validación de una estrategia MIP-polilla de la quinua para la producción de quinua orgánica. In IV Congreso de la Asociación de Protección Vegetal. Memorias. Oruro, BO. p. 56-59.

Rasmussen C, Jacobsen SE, Lagnaoui A, (2001a). Las polillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Per.: *Eurysacca* (Lepidoptera: Gelechiidae). Revista Peruana de Entomología, 42:57-59.

Rasmussen, C; Lagnaoui, A; Delgado, P. (2001). Phytomyptera sp. (Diptera: Tachinidae): an important natural control agent of the quinoa moth, *Eurysacca quinoae* (Lepidoptera: Gelechiidae) in the central Peru. Tachinid Times. 14:5-6.

Rasmussen, C; Lagnaoui, A; Esbjerg, P. (2003). Advances in the Knowledge of Quinoa Pests. Food reviews international. 19 (1 y 2): 61-75.

Rasmusen C. (2006). Crop Protection Compendium. Report Genus *Eurysacca*. CPC-Datasheet-Eurysacca. CAB International. Disponible en <http://www.cabicompendium.org/cpc/report.asp?Criteria=T/NAM;T/TX1&CCODE=EUR64/6/2006>. Consultado 15 diciembre de 2013.

Rodríguez, GA. (2013). Insectos plagas en el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow) en el Ecuador. Monografía. Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias. Guayaquil, EC.

Sanchez. G. y C. Vergara. (1991). Plagas de

cultivos andinos. Departamento de Entomología y Fitopatología. UNALM. Lima- Perú. 186 p.

Saravia, R. y R. Quispe. (2003). Ciclo biológico de la polilla de la quinua *Eurysacca melanocampta* Meyrick. Ficha técnica No.6. Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. 4 p.

Saravia R. y R. Quispe. (2005). Manejo integrado de las plagas insectiles del cultivo de la quinua. In Modulo 2: Manejo Agronómico de la quinua orgánica. Ed. Fundación PROINPA. Pag. 53-86.

Serna, FJ. (1996). Entomología general: guías para el reconocimiento de familias de insectos. Medellín, CO. PV Gráficas. 110 p.

Simmons, RB; Pogue, MC. (2004). Redescription of two often-confused noctuid pests, *Copitarsia decolora* and *Copitarsia incommoda* (Lepidoptera: Noctuidae). Ann. Ent. Soc. America. 97: 1159-1164.

Tapia, M; Gandarillas, H; Alandia, S; Cardozo, A; Otazú, V; Ortiz, R; Rea, J; Salas, B.; Zanabria, E; Mujica, A. (1979). La Quinua y La Kañiwa: Cultivos Andinos. Oficina Regional para América Latina. Bogotá, CO. p. 142-147.

Testen, A. (2012). Microbial approaches to support Andean quinoa production. Tesis M. Sc. Pennsylvania, US. Universidad de Pennsylvania. 132 p.

Valoy, M; Bruno, M; Prado, F; González, J. (2011). Insectos asociados a un cultivo de quinoa en Amaicha del Valle, Tucumán, Argentina. Acta zoológica Lilloana 55 (1): 16-22.

Vélez, AR. (1997). Plagas agrícolas de impacto económico en Colombia: bionomía y manejo integrado. Medellín: Universidad de Antioquia. 482 p.

Yabar, E; Baca. (1981). Algunos lepidópteros que atacan al tarwi (*Lupinus mutabilis*) en el Cusco. Rev. Per. Ent. 24(1): 81-85.

Zanabria, E; Mujica A. (1977). Evaluación de insectos plagas de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en el departamento de Puno. In XX Convención Nacional de Entomología, Arequipa, PE. Memorias. p. 36-37.

Zanabria, E; Banegas, M. (1997). Entomología económica sostenible. Universidad Nacional del

Altiplano del Perú. Puno, PE.

## Anexo 1

### Producción orgánica y Producción convencional.

En el cultivo de la quinua, es importante desarrollar enfoques sobre los sistemas de gestión agrícola del cultivo para la producción orgánica y para la producción convencional. Esto por el hecho de que gran parte del comercio internacional demanda quinua orgánica, sin embargo, por la creciente demanda mundial por este producto, cada día toma más importancia en los mercados locales e internacionales su producción convencional.

Según la IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica, por sus siglas en inglés), la “agricultura orgánica o ecológica, no solo es una forma de producir alimentos sin usar agroquímicos artificiales sino es mucho más que eso, es un sistema de producción que conserva la salud de las personas, del suelo y el ecosistema. Se basa en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales, en lugar de insumos con efectos adversos. La agricultura orgánica combina tradición, innovación y ciencia para beneficiar el ambiente y promover las relaciones justas y una buena calidad de vida para todos los involucrados”. La agricultura orgánica reduce considerablemente las necesidades de aportes externos al no utilizar abonos químicos ni plaguicidas u otros productos sintéticos (IBNORCA, 2000). Lo que distingue a la agricultura orgánica, es su reglamentación en virtud a las diferentes normas y programas de certificación. Estos principios, además de establecer normas generales de producción, restringen y prohíben la mayor parte de los insumos sintéticos, tanto para fertilizar, como para controlar insectos-plagas, malezas y enfermedades. Sus normas incluyen, por otro lado, un adecuado manejo del suelo con vistas a mantener y/o mejorar su fertilidad y estructura, que es la base de la producción agrícola (AOPEB, 2002).

En el caso de la quinua, las normas producción orgánica recomiendan la incorporación de materia orgánica (guano, abono verde, etc.) para mantener y/o mejorar la fertilidad del suelo, la rotación de cultivos, la utilización de trampas luz o trampas

con feromonas en el manejo preventivo de plagas de noctuides, uso de biofertilizantes y uso de extractos de plantas biocidas para el control de plagas. Cabe resaltar que todas las prácticas deben ser debidamente registradas, como requisito principal de este tipo de producción para garantizar la trazabilidad, registros que son certificados por las empresas acreditadas para este fin y que abalan el proceso al emitir el certificado correspondiente.

La producción convencional, se la define como un tipo de agricultura basada en el uso intensivo del capital (tractores y maquinaria de alta productividad) e insumos externos (semillas de alto potencial de rendimiento, fertilizantes y plaguicidas sintéticos), donde se busca maximizar los rendimientos. La agricultura convencional en el cultivo de la quinua no tiene por requisito contar con un certificado, por ello puede utilizar semillas mejoradas, fertilizantes, insecticidas y fungicidas sintéticos, no se obliga a un sistema de rotación de suelos. Sin embargo, en los últimos años la producción convencional está cambiando debido a la evolución de las exigencias del consumidor que ahora es más sensible con el medio ambiente además demanda alimentos producidos en condiciones sustentables utilizando buenas prácticas agrícolas, velando el cuidado de la capacidad productiva del suelo, uso eficiente del agua, etc.



## PARTE 3. ASPECTOS TÉCNICOS Y NUTRICIONALES





**CAPÍTULO: 3.1.**

# **TÍTULO: PROCESOS TRADICIONALES E INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN LA COSECHA, BENEFICIADO E INDUSTRIALIZACIÓN DE LA QUINUA**

*\*Autor para correspondencia:* Carla QUIROGA <[ccquiroga@upb.edu](mailto:ccquiroga@upb.edu)>

CARLA QUIROGA<sup>a</sup>, RAMIRO ESCALERA<sup>a</sup>, GENARO ARONI<sup>b</sup>, ALEJANDRO BONIFACIO<sup>b</sup>, JUAN ANTONIO GONZÁLEZ<sup>c</sup>, MILTON VILLCA<sup>b</sup>, RAÚL SARAVIA<sup>b</sup>, ANTONIO RUIZ<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Universidad Privada Boliviana, Av. Capitán Víctor Ustariz km 6,5 Cochabamba – Bolivia

<sup>b</sup> Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos, Av. Meneces km 4 Cochabamba - Bolivia

<sup>c</sup> Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo 251 (4000) Tucumán - Argentina

<sup>d</sup> Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles, c. Prolongación Cordero 220 La Paz – Bolivia

## **Resumen**

El incremento en la demanda de la quinua a nivel mundial ha promovido el crecimiento de la producción en las zonas de origen y la inclusión de esta especie en otras regiones, principalmente de las variedades y ecotipos con alto contenido de saponinas, que por sus propiedades antinutricionales y organolépticas indeseables, deben ser removidas de la superficie del grano en forma previa a su consumo.

Ante esta situación, las fases de cosecha y poscosecha (que implican las etapas de siega o corte, emparvado o formación de arcos, trilla, aventado y limpieza del grano, secado, selección, almacenamiento, beneficiado, elaboración de productos de valor agregado y uso directo del producto), han sido objeto de innovaciones tecnológicas a escala industrial, en sustitución de las prácticas tradicionales generalmente concebidas para una producción de pequeña escala.

El éxito que se pueda lograr en la producción de granos de alta calidad comercial depende, en gran medida, de la cosecha. En esta etapa, la introducción paulatina de sistemas

mecanizados en cultivos de mediana y gran escala, tales como segadoras, venteadoras, trilladoras, desbrozadoras, equipos combinados de trilla y zaranda han propiciado varias ventajas respecto de las prácticas manuales tradicionales relacionadas con la reducción de la contaminación de impurezas, disminución de mermas y pérdida de grano, además de facilitar las tareas y reducir los requerimientos de mano de obra, en muchos casos escasa en las zonas de cultivo. Tales sistemas han sido innovados y mejorados para mitigar sus impactos ambientales negativos intrínsecos.

En el beneficiado, los sistemas tradicionales de remoción de saponinas han sido innovados con un consecuente desarrollo y aplicación de equipos y tecnología apropiada a escala industrial. Siendo los sistemas combinados los más utilizados porque garantizan la calidad nutritiva y estabilidad morfológica del grano, así como el contenido final de saponinas por debajo de los niveles de los estándares internacionales. En estos sistemas las saponinas se remueven en 2 etapas: escarificado y lavado, seguidos de las etapas de centrifugado y secado de los granos. En los procesos optimizados se eliminan

las saponinas en seco hasta en un 95 %, en el escarificador, y el resto en la lavadora con agua. Sin embargo, los volúmenes de agua requeridos aún son importantes, generalmente mayores a 5 m<sup>3</sup>/t de quinua procesada, y los efluentes que se generan están contaminados con saponinas. La remoción de impurezas tales como piedrecillas, ramas, granos inmaduros, quebrados o de otro color, se realiza en zarandas o clasificadores, despedregadores, sistemas magnéticos y ópticos, acompañados casi siempre por el trabajo manual.

Las fuerzas del mercado, con normativas ambientales más exigentes, mayores precios y la menor disponibilidad del recurso agua en las zonas productoras, seguirán impulsando el desarrollo de equipos y tecnología aún más eficientes e innovadores, con tendencia hacia los sistemas de remoción de saponinas vía seca, los cuales además de no requerir agua permiten la recuperación total de las saponinas que tienen buenos precios en el mercado por sus aplicaciones en diferentes rubros del sector industrial. Aunque a escala artesanal se han propuesto modelos interesantes para el procesamiento de la quinua por vía seca, aún se deben realizar mayores investigaciones hasta lograr escalar a nivel industrial.

Los alimentos elaborados en base a la quinua han estado presentes en la dieta de los pobladores de Los Andes durante siglos y debido a sus atributos nutricionales su uso no sólo se ha extendiendo a otras zonas, sino que hay una mayor diversificación de productos derivados de la quinua sola (harina, hojuelas, expandidos del grano) o mezclas con cereales, oleaginosas y otros alimentos (pan de harinas compuestas, fideos, extruidos, pastas libres de gluten). Se espera que, con la expansión del mercado de la quinua, se generaran nuevos productos derivados del grano, tales como los concentrados y aislados proteicos, aceites, almidones y derivados de saponinas con alto valor agregado.

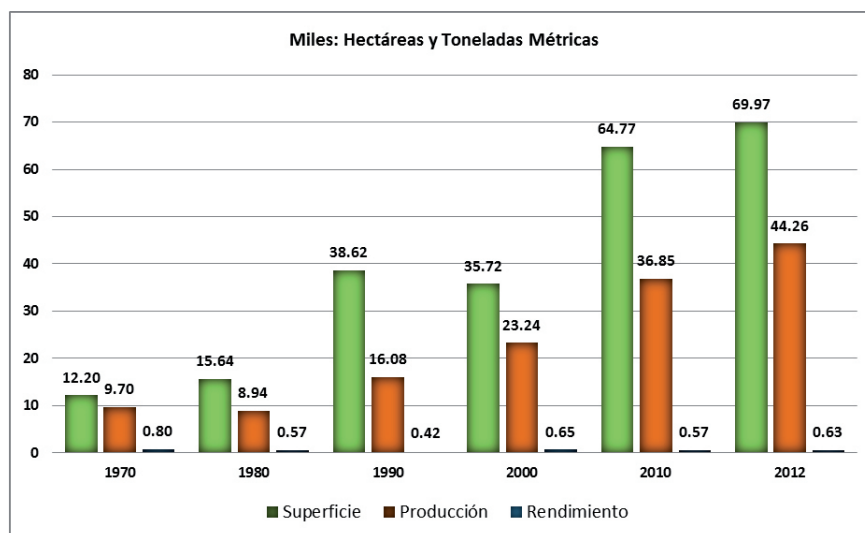
### 1. Introducción.

Según los estándares de nutrición humana establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

(FAO), la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales (Koziol 1992; González *et al.* 2012). Además de su alta calidad nutritiva, tiene una amplia variabilidad genética y adaptabilidad a diversas condiciones de clima y suelo, capacidades que se traducen en bajos costos de producción (Fundación PROINPA 2011).

Debido a estas características y sus múltiples posibilidades de uso, se ha generado una demanda creciente a nivel mundial por este producto, constituyéndose en un cultivo estratégico para contribuir a la soberanía alimentaria de diversas regiones. Así lo han entendido varios países en Europa, Norte América, África y Asia que han empezado a cultivar este grano andino (Jacobsen 2003).

Por ejemplo, para la quinua boliviana, entre los años 2005 y 2012, la demanda estadounidense se ha incrementado en un 1 120 %, la francesa en 207 % y la alemana en 361 %, habiéndose exportado un total de 25 660 t por un valor de 78,9 millones de \$US y a un precio de 3 075 \$US/t (INE 2013). Para satisfacer esa demanda, la producción de quinua convencional y orgánica en Bolivia en los últimos años ha tenido un comportamiento ascendente. En la Figura 1 se puede observar que la superficie de cultivo y la producción se han incrementado considerablemente en las décadas de 1990 y 2010. La superficie sembrada se ha cuadruplicado con respecto a 1970 y 1980 llegando a 69 970 hectáreas en el año 2012. La producción total de quinua también ha registrado incrementos considerables de 23 240 t en el año 2000 a 44 260 t en el 2012 (INE 2013). Por otra parte, en Perú, según la Asociación de Exportadores (La República 2013), en el año 2012 las exportaciones de quinua llegaron a 10 402 t y 30,7 millones de \$US, un 23 % más que los envíos realizados el año anterior. La producción anual de quinua fue de 39 398 t en el año 2009 y se incrementó a 44 207 t el 2012 (MINAG 2013). Estos dos países representan más del 90 % de la producción mundial (Baudoin & Avitabile 2013). La producción de quinua en la región andina de Ecuador (exportación 941 t, 2 694 \$US/t), Chile y Argentina es bastante menor (algunos miles de toneladas anuales).



**Figura 1:** Superficie sembrada, producción y rendimiento de quinua por hectárea en Bolivia entre los años 1970 y 2012 (Fuente: IBCE/FAOSTAT 2012)

Para responder a este crecimiento, las fases de cosecha y poscosecha (que implican las etapas de siega o corte, emparvado o formación de arcos, trilla, aventado y limpieza del grano, secado, selección, almacenamiento, beneficiado, elaboración de productos de valor agregado y uso directo del producto), han sido objeto de innovaciones tecnológicas a escala industrial, en reemplazo de las prácticas tradicionales, generalmente concebidas para una producción de pequeña escala. Especialmente importante ha sido el desarrollo de innovaciones en el proceso de remoción de saponinas dentro del beneficiado de la quinua.

En este capítulo se pretende mostrar el estado del arte en la aplicación actual de las prácticas tradicionales y las innovaciones tecnológicas desarrolladas para las distintas etapas de la cosecha y poscosecha, con particular énfasis en el beneficiado.

### 1. Cosecha.

La cosecha se realiza cuando las plantas han alcanzado la madurez fisiológica, característica que se reconoce cuando cambian de coloración, tornándose en un color amarillo típico, rojizo, rosado, púrpura, negro según los ecotipos y/o variedades. Esta madurez se confirma con la

sensación de dureza o resistencia que ofrece el grano a la presión de las uñas. La cosecha debe realizarse dentro del periodo recomendado del ciclo productivo, a fin de evitar pérdidas por desgrane, ataque de aves o el deterioro de la calidad del grano por lluvias, granizadas o nevadas inesperadas (Apaza *et al.* 2006).

La Tabla 1 (Bonifacio *et al.* 2012) y la Tabla 2 (Espíndola & Bonifacio 1996) presentan las características fenotípicas (*e.g.* color de la panoja y color de grano), de los distintos ecotipos de Quinua Real cultivados en el Altiplano Sur de Bolivia y de variedades mejoradas, en su etapa de madurez fisiológica al final del ciclo vegetativo respectivo. El grano de quinua en su fase de madurez fisiológica tiene un rango de humedad entre 10 y 13 % y la planta entre 16 y 20 %. Estas características pueden facilitar la toma de decisión respecto a la oportunidad de la cosecha. Si se retarda la cosecha en dos a tres semanas, existe alta probabilidad de pérdidas significativas de grano por el desgrane causado por el viento (rozamiento entre plantas y panojas) y el desgrane durante el corte y el emparve. La Figura 2 muestra la Quinua Real Blanca y la Quinua Canchis Rosada en madurez fisiológica.



**Figura 2:** (a) Quinoa Real Blanca en madurez fisiológica (Palaya - Potosí); (b) Quinoa Canchis Rosado en madurez fisiológica (Chacala – Potosí) (Cortesía: Fundación PROINPA)

La cosecha de quinua consta de varias etapas según la tecnología empleada. Cuando el trabajo se realiza en forma manual y utilizando trilladoras estacionarias las etapas son: siega o corte, emparvado o formación de arcos, trilla, aventado y limpieza del grano, secado, selección, envasado

y almacenamiento. Cuando se efectúa en forma mecanizada utilizando cosechadoras combinadas las labores de corte, trilla y venteo se realizan simultáneamente, luego sigue la selección, envasado y almacenamiento.

Nombre del ecotipo	Ciclo vegetativo [días]	Panoja (color)	Grano entero (color)	Grano perlado (color)
<b>Ecotipos tardíos</b>				
Achachino	180	Rojo crema	Rojo	Blanco
Chuku Puñete	172	Crema	Crema	Blanco
Mok'o Rosado	172	Rosado	Rosado	Blanco
Negra	172	Negro	Negro	Negro
Pandela	175	Rosado	Rosado	Blanco
Pisankalla	170	Café rojizo	Café rojizo	Café
K'ellu	172	Amarillo dorado	Amarillo dorado	Blanco
K'ellu	176	Gris	Gris	Café
Real Blanca	171	Habano	Habano	Blanco
Rosa Blanca	178	Rosado gris	Habano rosado	Blanco
Timsa	180	Crema	Crema	Blanco
Toledo	181	Rojo anaranjado	Café rojizo	Blanco
Tres Hermanos	176	Mixtura	Mixtura	Blanco
Huallata	176	Mixtura	Mixtura	Blanco
<b>Ecotipos semiprecoces</b>				



Chillpi Blanco	156	Crema	Crema	Cristalino
Kairoja	164	Rosado	Rosado	Blanco
Lipeña	163	Blanco	Habano	Blanco
Manzano	167	Café rojizo	Café rojizo	Blanco
Mok'ó	161	Crema	Crema	Blanco
Quinua Roja	164	Café rojizo	Café rojizo	Blanco
Señora	161	Crema	Crema suave	Blanco
Utusaya	165	Rosado claro	Crema	Blanco
Wila Jipina	155	Rosado crema	Crema rosado suave	Blanco
<b>Ecotipos precoces</b>				
Cariquimeña	144	Crema	Crema	Blanco
Mañiqueña	143	Crema	Crema	Blanco
Canchis Amarillo	144	Amarillo pálido	Amarillo claro	Blanco
Canchis Rosado	147	Rosado	Rosado	Blanco

**Tabla 1:** Características de variedades de quinua mejorada a la madurez fisiológica  
(Fuente: Bonifacio *et al.* 2012)

<b>Variedad</b>	<b>Ciclo vegetativo [días]</b>	<b>Panoja (color)</b>	<b>Grano entero (color)</b>	<b>Grano perlado (color)</b>
<b>Variedades semitardías</b>				
Kurmi	170	Rosado	Blanco	Blanco
Blanquita	176	Crema a Blanco	Blanco	Blanco
<b>Variedades semiprecoces</b>				
Sajama	160	Crema amarillento	Blanco	Blanco
Chucapaca	160	Rosado claro	Blanco ceniciento	Blanco
Surumi	165	Rosado claro	Rosado claro	Blanco
Intinayra	165	Amarillo intenso	Amarillo	Blanco
Sayaña	165	Agranujado	Amarillo suave	Blanco
<b>Variedades precoces</b>				
Jacha Grano	135	Amarillo claro	Blanco	Blanco
Aynoq'a	140	Crema	Blanco	Blanco
Horizontes	140	Crema	Blanco	Blanco
Patacamaya	147	Rosado	Blanco	Blanco
Kosuña	150	Crema	Blanco	Blanco

**Tabla 2:** Características de algunas variedades mejoradas a la madurez fisiológica  
(Fuente: Espíndola & Bonifacio 1996)

### 2.1. Arrancado y siega.

En el sistema manual, la siega se la puede realizar de varias maneras. Hasta el año 2008, según una encuesta realizada en el Altiplano Sur, el 57 % de los productores practicaban el arrancado de plantas, el 42 % realizaba el corte con hoz y un 2 % usaba motosegadora. (Aroni *et al.* 2009).

El arrancado de plantas desde la raíz es una práctica ancestral, realizada particularmente donde los suelos son arenosos. En este método, los terrones que se adhieren generalmente a la raíz de la planta son parcialmente removidos mediante sacudones consecutivos y cuidadosos o una ligera fricción entre raíces. Luego las plantas se depositan en el suelo en forma de gavillas.



El corte o siega de la planta madura se realiza a una altura que varía entre 10 y 15 cm desde superficie del suelo. Esta práctica permite que restos de tallo y raíz queden en el suelo, protegiéndolo de la erosión, para que luego se conviertan en materia orgánica a través de un proceso natural de compostaje (Aroni *et al.* 2009). Los productores de quinua paulatinamente van incorporando la práctica de la siega mediante el uso de hoces, azadones o segadoras mecánicas. Con estas pequeñas innovaciones, se disminuye significativamente la contaminación del grano con arena, piedrecilla y tierra, aspecto que es sumamente importante en el proceso de beneficiado posterior del grano. La Figura 3 ilustra las prácticas de siega con hoz y con segadora mecánica operada manualmente.



**Figura 3:** (a) Corte de plantas con hoz (Palaya - Potosí); (b) Corte de plantas con segadora (Palaya - Potosí) (Cortesía: Fundación PROINPA)

Una labor simultánea que debe ser realizada durante la cosecha es la selección de plantas atípicas, particularmente de plantas con diferentes colores de grano, para evitar mezclas que desmejoran su calidad y disminuyen su precio de venta. Por ejemplo, para satisfacer la Norma Boliviana NB NA 0038 que establece un máximo del 1 % de granos de otro color (IBNORCA 2007), se deben remover las plantas de grano de color café o negro si la variedad es de grano blanco, y si la variedad es de color negro o rojo, se evita la presencia de plantas de grano blanco. Aun cuando se utiliza semilla certificada y/o seleccionada, casi siempre se presentan plantas atípicas que pueden ocasionar mezclas indeseables. Este fenómeno se da por la segregación genética

natural que ocurre en la quinua.

Cuando el corte de las plantas se realiza unas semanas después de la madurez fisiológica, existe mucha probabilidad de desgrane durante el corte. En ese caso se recomienda realizar la siega en horas de la mañana cuando todavía está presente el rocío ya que la planta madura de quinua retiene algo de humedad al ser altamente higroscópica.

### 2.2. Emparvado.

El emparvado de la quinua consiste en apilar las plantas segadas, en forma de arcos o parvas con la finalidad de secar las plantas y panojas. De esta manera, se evita que se malogre la cosecha por

eventos climáticos adversos (*e.g.* lluvias y granizadas extemporáneas) que pueden ocasionar manchas en el grano (León 2003; Apaza *et al.* 2006).

Existe una diversidad de formas o métodos de emparve. La más común consiste en formar pequeños montículos dispuestos en el interior de la parcela; otra implica realizar el emparve en forma lineal con las panojas dispuestas a un solo lado o también se pueden hacer parvas en forma circular con las panojas orientadas al interior del círculo. En el altiplano Sur, la práctica más generalizada es el emparvado en arcos con las plantas colocadas en forma de “X” y las panojas dispuestas en la parte superior. Esta forma de emparvado permite una

buen aireación, por tanto el secado es más rápido comparado con las otras formas. Las parvas deben permanecer en el campo el tiempo estrictamente necesario, de lo contrario se intensificará el ataque de roedores y aves.

El emparvado en línea, círculo y arcos facilita la protección de las lluvias retrasadas, empleando polietileno para cubrir la parte superior de las parvas (panojas). Un descuido en esta práctica puede ocasionar muchas pérdidas porque la lluvia moja el grano y provoca la germinación de los granos en la misma panoja. La Figura 4 muestra los emparvados en línea y cruz.



**Figura 4:** (Izq.) Parvas de quinua negra cortadas en línea (Chacala - Potosí); (Der.) Emparve en cruz para facilitar el secado (Rio Grande - Potosí) (Cortesía: Fundación PROINPA)

### 2.3. Trilla.

La trilla consiste en la separación del grano de la panoja (glomérulos) (Calla & Cortez 2011). Antes de iniciar la trilla, es importante verificar que la humedad del grano no exceda el 15 %. (Apaza *et al.* 2006). Esta labor se realiza de acuerdo a la disponibilidad de equipo y la topografía del lugar. En la producción de quinua en laderas (Figura 5 (a)), todavía es posible observar la práctica de la trilla tradicional, utilizando una “huajtana” que es un

palo macizo con el que se golpea las panojas para desprender el grano. En la producción en planicie, la trilla se realiza con pases consecutivos de un tractor (Figura 5 (b)), otro tipo de vehículo o trillas estacionarias. La trilla utilizando un tractor u otro tipo de vehículo se realiza sobre carpas dispuestas en el suelo apisonado (plataforma). La carpa debe abarcar toda la superficie necesaria de tal forma que las llantas del vehículo no entren en contacto continuo con tierra y/o arena y contaminen el grano.



**Figura 5:** (a) Trilla tradicional de quinua en ladera (Miraflores - Potosí); (b) Trilla con tractor (Palaya - Potosí) (Cortesía: Fundación PROINPA)

Para la trilla sobre la plataforma preparada se colocan las plantas secas en dos hileras paralelas, generalmente con las panojas orientadas al interior (Figura 6 (a)). El ancho de estas dos formaciones corresponde al ancho de la trocha o distancia entre las ruedas del vehículo. Los movimientos de

avance y retroceso del vehículo sobre las panojas dispuestas en hilera, consiguen desprender el grano de la panoja. La broza se separa paulatinamente con rastrillos y se va depositando fuera de la plataforma. Esta operación se repite varias veces hasta conseguir un grano parcialmente pulido que todavía está mezclado con restos de la planta.



**Figura 6:** (a) Trilla de quinua con camión (Chacala - Potosí); (b) Trilladora Vencedora (Villa Esperanza - Potosí) (Cortesía: Fundación PROINPA)

### 2.3.1. Maquinas trilladoras.

En el pasado reciente se han probado varios tipos de trilladoras estacionarias como la Vencedora (Figura 6 (b)) y Alban Blach, las mismas que han tenido poca aceptación, debido a su costo y porque rompen el grano (Aroni *et al.* 2009). En la actualidad se promocionan otros equipos de los cuales se mencionan los siguientes:

#### *Trilladora TR-C.*

La trilladora TR-C (Figura 7) fue desarrollada por la Fundación FAUTAPO y el Centro de Investigación,

Formación y Extensión en Mecanización Agrícola S.A.M. (CIFEMA) (Aroni *et al.* 2009). El equipo está compuesto por un desgranador y sistemas de zarandas que separan la parte gruesa de la planta del grano. Por el tamaño menor frente a otras de su tipo, se puede trasladar en un vehículo liviano (camioneta, motocultor y otros). El equipo es apropiado inclusive para ser operado por mujeres, posee un motor a gasolina estacionario de fácil manejo y bajo consumo (5,5 hp y 1 L/h), incluye 2 zarandas cambiables y su rendimiento es de 276 a 368 kg/h (CIFEMA 2006).





**Figura 7:** Trilladora TR-C (Fuente: CIFEMA 2006)

#### *Trilladora MASEMA FAUTAPO I*

Financiada por las fundaciones FAUTAPO de Bolivia y PRONORTE de Salta, Argentina, la máquina fue construida por estudiantes de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Córdoba y fue probada en Uyuni (Figura 8, Turismo Rural Comunitario 2013). La trilla funciona mediante un cilindro rotativo convencional transversal provisto con muelas de plástico y goma, donde se separan tallos y remueven de sus flores los frutos o granos de la planta. La separación de granos y trozos de planta se realiza por medio de dos zarandas móviles, la primera que separa trozos mayores, comúnmente llamado sacapaja y una segunda zaranda donde solo pasan granos y partes menores a 3 mm de diámetro hacia la última etapa de separación. El venteo y clasificación de grano por tamaño y separación de porciones pequeñas de flores y palillos se logra mediante un ventilador y un túnel de viento donde los granos son seleccionados por tamaño y peso y pequeñas partes de menor densidad al grano son expulsadas de la máquina. El prototipo propone la innovación de poseer ajustes de potencia independientes en las tres etapas de separación por medio de motores eléctricos trifásicos en cada función. Cada etapa utiliza un variador de velocidad, proponiendo como fuente de energía un generador de energía eléctrica convencional de ciclo Otto. La prueba de campo demostró que no se deteriora el grano. Sin embargo, se necesitan hacer ajustes en la etapa de venteo.



**Figura 8:** Trilladora-venteadora MASEMA FAUTAPO I (Fuente: Turismo Rural Comunitario 2013)

#### *Trilladora Vencedora modificada.*

La trilladora Vencedora es un equipo de fabricación brasilera con rendimiento de 320 kg/h, que, para las condiciones del altiplano, requiere de un tractor para remolcar o un camión para transportar. La máquina es poco apropiada para las condiciones de los pequeños productores con parcelas dispersas. Por estas razones, a nivel local en el año 2007, el equipo se ha adaptado reduciendo su tamaño y manteniendo los principios de trilla y ventilación (Figura 9). Las pruebas con este equipo se realizaron en el Altiplano Norte y Centro de Bolivia. Su rendimiento fue de 180 a 210 kg/h, con una efectividad de 85 % de grano y 15 % de jipi (hojas y perigonio triturado) (Aroni *et al.* 2009).



**Figura 9:** Trilladora Vencedora modificada (Fuente: Fundación PROINPA 2008)

### Trilladora tubular.

La trilladora tubular (Figura 10), promocionada por la Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA), es un equipo muy liviano con toma de fuerza independiente y puede ser trasladada en una camioneta. Tiene los siguientes componentes: plataforma de alimentación, cuerpo de trilla, zaranda de salida de granos, salida de broza, base del motor, motor a gasolina de 5 hp y colector de grano trillado. Tiene una vida útil mayor a 10 años.



**Figura 10:** Trilladora Tubular (Fuente: Fundación PROINPA 2008)

El rendimiento promedio de la trilladora tubular es de 95 kg/h en el procesamiento de granos de quinua con un 15 % de jipi, que se separa mediante el venteado del grano. La zaranda de salida permite obtener un grano casi limpio evitando la labor de tamizado posterior, como ocurre en el caso de otras trilladoras. En la Tabla 3 se muestra el rendimiento de la máquina en la trilla de tres variedades de quinua (Fundación PROINPA 2008).

### 2.4 Harneado o zarandeo.

El harneado o zarandeo consiste en separar el grano de la broza que incluye fragmentos de hojas, pedicelos, perigonio, inflorescencias y pequeñas ramas (Apaza *et al.* 2006). Para esta labor manual se utilizan zarandas generalmente de 0,80 m x 1,50 m que pueden ser de malla o planchas perforadas con orificios de 3,5 a 4 mm. Los operadores realizan movimientos de vaivén para separar los granos y jipi de la broza. El harneado es una labor muy tediosa y polvorienta (Figura 11). El viento puede ser perjudicial o beneficioso dependiendo de su intensidad.

Cultivares de quinua	Peso de planta secas [kg]	Grano trillados [kg]	Broza [kg]	Tiempo de trillado [min]	Rendimiento de trilla [kg/h]
Línea Purpura	50	16	34	10	96
Jacha Grano	56	19	37	12	95
Surumi	33	11	22	7	94
<b>Promedio</b>	<b>46</b>	<b>15</b>	<b>31</b>	<b>10</b>	<b>95</b>

**Tabla 3:** Rendimiento de la trilladora tubular en tres variedades de quinua (Fuente: Fundación PROINPA 2008)

### 2.4 Harneado o zarandeo.

El harneado o zarandeo consiste en separar el grano de la broza que incluye fragmentos de hojas, pedicelos, perigonio, inflorescencias y pequeñas ramas (Apaza *et al.* 2006). Para esta labor manual se utilizan zarandas generalmente

de 0,80 m x 1,50 m que pueden ser de malla o planchas perforadas con orificios de 3,5 a 4 mm. Los operadores realizan movimientos de vaivén para separar los granos y jipi de la broza. El harneado es una labor muy tediosa y polvorienta (Figura 11). El viento puede ser perjudicial o beneficioso dependiendo de su intensidad.



**Figura 11:** (a) Labor de harneado (Chacala – Potosí); (b) Harneado en ladera (Palaya – Potosí) (Cortesía: Fundación PROINPA)

### 2.5. Venteado.

El venteado de grano consiste en separar las impurezas pequeñas y livianas aprovechando la energía del viento en la práctica tradicional o el trabajo mecánico de un soplador/ventilador en las venteadoras mecánicas.

El venteo tradicional se realiza manualmente utilizando platos o recipientes para recoger una porción de quinua harneada y dejar caer en chorro en dirección transversal a la dirección del viento. Este método, al ser dependiente de ocurrencia y la variabilidad de dirección e intensidad del viento, es poco efectivo y el producto que se obtiene es heterogéneo y aún contiene impurezas.

En el venteo mejorado se utilizan venteadoras mecánicas accionadas manualmente o mediante un motor. Las venteadoras generan corrientes regulares de aire mediante aspas giratorias y poseen una tolva de alimentación de donde cae el grano en una cantidad constante y regulable (Figura 12). Estos equipos son relativamente económicos; sin embargo, lo más importante es que permiten realizar el venteo en cualquier época del año sin depender del viento. El rendimiento de las máquinas es de 5 a 8 qq/h. Hasta el año 2008, un 77 % de los agricultores del Altiplano Sur en Oruro, y un 14 % en el Altiplano Sur en Potosí practicaba el venteo mecánico (Aroni *et al.* 2009).



**Figura 12:** Venteo de quinua (Salinas de Garci Mendoza – Oruro) (Cortesía: Fundación PROINPA)



En la Figura 13 se observa la venteadora a motor que realiza el venteo del material (grano + jipi + broza). Este equipo de mayor rendimiento (16 qq/h) fue construido por la Consultora y Taller Mecánico

Aroni en Uyuni, Bolivia. La venteadora lleva incluido un mecanismo que además de ventear separa la broza.



**Figura 13:** Limpieza y venteo de quinua con desbrozadora (Palaya – Potosí) (Cortesía: Fundación PROINPA)

#### *Venteadora V-M.*

La venteadora V-M (Figura 14) lleva un cilindro giratorio al interior de la tolva de alimentación que garantiza la continua caída de los granos de quinua y también permite que los granos de quinua más

pequeños sean rescatados en el proceso de venteo. Esta máquina, que es ideal para las condiciones de trabajo en Bolivia, posee un motor a gasolina de 5 hp, 1 L/h, y procesa 600 a 650 kg de grano y granza por hora a una rotación apropiada de las aspás de 550 a 600 rpm (CIFEMA 2007).



**Figura 14:** Venteadora V-M (Fuente: CIFEMA 2007)



## 2.6. Cosechadoras combinadas.

En la gestión agrícola 2012-2013 se han probado dos tipos de cosechadoras combinadas accionadas por motor propio en las localidades de Challapata y El Choro del departamento de Oruro, Bolivia. Las cosechadoras CLAAS y DIMA (Figura 15), son modelos pequeños diseñados para trabajar en parcelas de tamaño mediano a grande. Este tipo de cosechadoras combinadas realizan el corte, la trilla, el zarandeo y la limpieza simultáneamente, evitando la contaminación con impurezas. Los resultados de

las pruebas conducen a hacer algunos ajustes en el manejo del cultivo y también en el equipo. En lo concerniente al manejo del cultivo, la preparación de suelos debe ser mejorada especialmente en la nivelación o emparejado, densidades de siembra apropiadas, utilizar variedades de hábito de crecimiento simple, maduración homogénea del cultivo, plantas con panoja única. Por otra parte, las maquinas también requieren ajustes en el sistema de corte, puesto que tienen alto porcentaje de pérdida por desgrane y caída de panojas cortadas que quedan en el suelo.



**Figura 15:** (a) Cosechadora combinada CLAAS (Challapata - Oruro) (Bretel 2013); (b) Cosechadora combinada DIMA (El Choro – Oruro) (Cortesía: Fundación PROINPA)

## 2.7. Transporte.

El transporte de la quinua, desde las parcelas de producción hacia el lugar de almacenamiento, se

realiza utilizando todo tipo de vehículos: camionetas, camiones, tractores entre otros. (Figura 16).



**Figura 16:** (a) Traslado de quinua en movilidad (Palaya – Potosí); (b) Traslado de quinua con tractor (Palaya – Potosí) (Cortesía: Fundación PROINPA)

La apertura y mantenimiento de caminos secundarios permite el acceso de los vehículos a zonas de cultivo en planicie y ladera, facilitando el traslado del grano en bolsas que son transportados a los depósitos en las comunidades productoras de quinua.

## 2.8. Almacenamiento en lugares de cosecha.

El almacenamiento de la quinua consiste en guardar el grano limpio por un determinado tiempo y en un lugar adecuado de tal manera que el grano conserve la calidad (Calla & Cortez 2011). El almacenamiento en el predio del agricultor

cada año adquiere mayor importancia debido a las exigencias de las normas de producción orgánica e inocuidad alimentaria. El almacén debe estar construido siguiendo especificaciones de materiales y con los detalles constructivos que faciliten las condiciones ambientales (temperatura y humedad) apropiadas, tareas de limpieza y protección contra roedores y otros animales que pueden ocasionar contaminación del grano. La Figura 17 muestra un almacén en construcción con paredes de ladrillo y el interior de otro con revestimiento de yeso y piso cementado, ambos materiales apropiados para la limpieza.



**Figura 17:** (a) Construcción de almacén de quinua, Proyecto PAR (Bella Vista – Potosí); (b) Almacén de acopio de quinua de una Organización de productores (Cortesía: Fundación PROINPA)

En esta sección, cosecha, es bueno mencionar que el CPTS ha desarrollado un paquete tecnológico (sembradora, fumigadora-dosificadora de enmiendas líquidas-regadora, cosechadora, secadora solar y trilladora-venteadora-seleccionadora de semilla), basado en los principios de producción más limpia, para cultivar quinua en tierras áridas del altiplano boliviano. Los equipos están a nivel de prototipos finales y actualmente en proceso de validación junto a las metodologías agrícolas apropiadas, a fin de proceder con la fabricación comercial de estos.

### 1. Beneficiado.

El tamaño del grano cosechado y separado no es uniforme, varía en promedio entre 1,4 y 2 mm de diámetro, y contienen impurezas (especialmente, residuos de broza, ramas, hojas y piedrecillas,

así como granos quebrados, dañados, de color, germinados, recubiertos, inmaduros). El proceso de beneficiado de la quinua consiste en obtener granos que cumplan con los estándares de calidad en cuanto a tamaño, impurezas o materiales extraños, requisitos bromatológicos y microbiológicos (IBNORCA 2007). Para ello, es necesario someter a los granos a una serie de etapas que comprenden: la selección preliminar y remoción de impurezas, la remoción de saponinas, normalmente realizada por la vía combinada de escarificación (vía seca) y lavado (vía húmeda), secado, clasificación de tamaños, separación de granos de otro color y la remoción de impurezas residuales.

#### 3.1. Selección preliminar y separación de impurezas.

La materia prima que se lleva a la planta beneficiadora, por lo general en bolsas plásticas

de polipropileno u otro material de 1 qq, es previamente clasificada en zarandas simples provistas de una placa perforada de orificios de 3 mm de diámetro y una malla trenzada con 1,2 mm de distancia entre hilos (Quiroga *et al.* 2010). La velocidad de proceso es de 1qq cada 2 a 3 minutos. El aparato está accionado por un motor de 1,1 kW. Los productos de la selección son 5:

- Material particulado (polvo, saponina principalmente)
- Impurezas livianas gruesas (ramas, hojas)
- Granos de primera (granos con diámetro mayor 2,2 mm) (90 a 95 %)
- Granos de segunda (granos con diámetro menor a 2,2 mm)
- Impurezas pesadas (piedras)

El material particulado se descarga a la atmósfera, las impurezas se desechan, la quinua de segunda se devuelve al productor o se compra a precio diferenciado conjuntamente con la quinua de primera, las mismas que son pesadas en una balanza de brazo.

Otras empresas beneficiadoras cuentan con la clasificadora de granos CIFEMA (CIFEMA 2013) o prototipos similares que clasifican el grano por tamaño mediante dos juegos de zaranda intercambiables de diferentes dimensiones permitiendo inclusive seleccionar diferentes variedades de quinua. La clasificadora (Figura 18) se acciona con un motor a gasolina de 5 hp y tiene una capacidad de procesamiento de 7 a 10 qq/h. Las zarandas de 60 cm x 100 cm tienen mallas de 2 y 1 mm de abertura.



**Figura 18:** Clasificador de granos (Fuente: CIFEMA 2013)

La quinua comprada se almacena en bolsas plásticas o de otro material de 1 qq en recintos de capacidad suficiente para procesar algunos miles de quintales

por mes. Algunas beneficiadoras de gran capacidad de procesamiento utilizan silos metálicos (Figura 19) para evitar la presencia de roedores y polillas.





**Figura 19:** Silos de almacenamiento de la empresa Complejo Industrial y Tecnológico Yanapasiñani S.R.L. (CITY) (Cortesía: UPB)

### 3.2. Desaponificación.

El proceso de remoción de las saponinas, desaponificación, es una de las etapas más importantes del beneficiado del grano y en los últimos años se han desarrollado tecnologías apropiadas que remueven las saponinas por debajo de los límites de aceptabilidad, sin detrimento de sus propiedades nutricionales.

En este inciso se pretende mostrar el progreso en los procesos de remoción de saponinas y presentar las principales tecnologías que se están usando en las empresas beneficiadoras de quinua, junto con una descripción de las características químicas y funcionales de las saponinas, su concentración y localización en la estructura del grano.

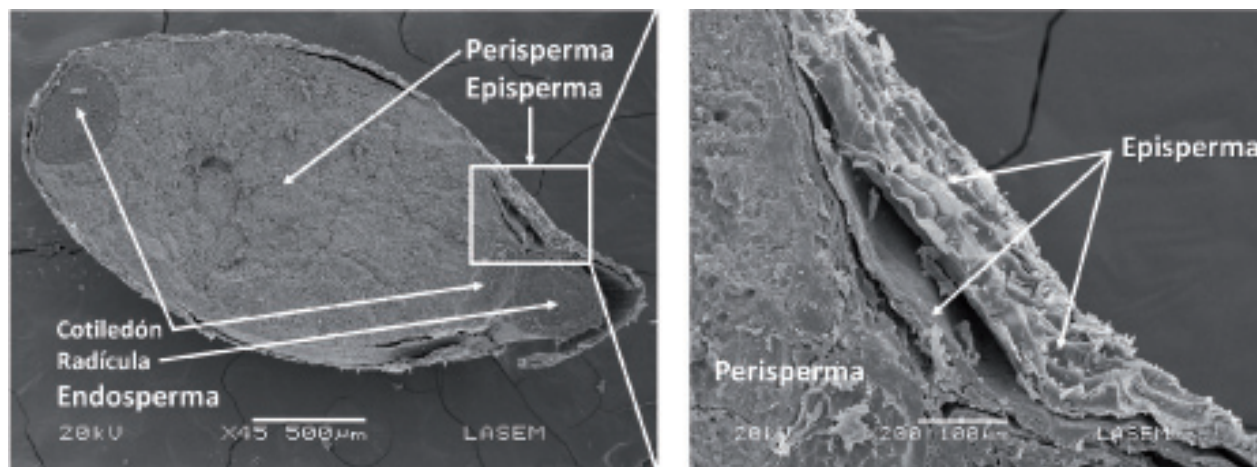
#### 3.2.1. Saponinas.

Se han identificado al menos 20 diferentes tipos de saponinas en la quinua (Kuljanabagavad *et al.*

2008). Estos compuestos químicos tienen varias unidades monosacáridas que se enlazan mediante un enlace glicosídico a un resto denominado aglicón o sapogenina, de naturaleza triterpénica, y de acuerdo al número de cadenas de azúcar en la estructura se clasifican como mono, di, o tridesmosídicos. Las saponinas monodesmosídicas tienen una cadena de azúcar simple, normalmente localizada en el C-3. Las saponinas bidesmosídicas tienen dos cadenas de azúcar, una de ellas generalmente enlazada al C-3 a través de un enlace éter y la otra enlazada al C-18 o al C-26, a través de un enlace ester. Los monosacáridos más comunes son la D-glucosa, D-galactosa, D-ácido glucorónico, D-ácido galacturónico, L-ramnosa, L-arabinosa, D-xilosa y D-fructosa. Son cuatro los aglicones que han sido identificados en las saponinas de quinua: ácido oleonólico, ácido fitolaccagénico, hederagenina (Ridout *et al.* 1991; Ng *et al.* 1994; Ahamed *et al.* 1998). Algunos autores indican el ácido serjanico, como el cuarto aglicón (Madl *et al.* 2006) y otros el ácido espergulagénico (Kuljanabagavad & Wink 2009).

En el grano de quinua, las saponinas están localizadas en la primera capa externa del episperma, el mismo que está compuesto de 4 capas (Villacorta & Talavera 1976; Prado *et al.* 1996; Jiménez *et al.* 2010). Esta capa externa es rugosa, quebradiza y seca y puede ser parcialmente removida por métodos abrasivos y lavado con agua fría, mejorándose su remoción considerablemente cuando se utiliza agua caliente o soluciones alcalinas o ácidas. En la Figura 20 se observan las partes del grano de quinua y las capas del episperma.





**Figura 20:** Micrografía SEM, partes principales de un grano de quinua, ecotipo Quinua Real Blanca (Fuente: Quiroga *et al.* 2011)

Las propiedades fisicoquímicas y biológicas de las saponinas han sido ampliamente explotadas en un número de aplicaciones comerciales en los sectores de alimentos, cosmético, agrícola y farmacéutico (Ahamed *et al.* 1998). A pesar de ser consideradas factores antinutricionales, juntamente con los taninos, ácido fítico e inhibidores de proteasas (Ruales 1992) y tener un efecto negativo a nivel de dotación de glóbulos rojos en grupos sanguíneos A y O (González *et al.* 1989), hay evidencias científicas de sus beneficios sobre la salud por sus propiedades anticancerígenas (Güçlü-Üstündağ & Mazza 2007) y de reducción del colesterol (Taka *et al.* 2005). Algunos estudios también han demostrado sus propiedades antifúngicas (Woldemichael & Wink 2001, Stuardo & San Martín 2008). Woldemichael GM & M Wink (2001).

En la actualidad es posible encontrar variedades y ecotipos de quinua denominadas “amargas”, “semidulces” y “dulces”. Esta clasificación se basa en el contenido de saponinas que en términos generales varía entre 0 y 3 % en granos secos. Las denominadas “amargas” contienen entre 1 y 3 % de saponinas, las “dulces” oscila entre 0,0 y 0,1 % y las “semidulces” entre 0,1 y 1 % (Güçlü-Üstündağ & Mazza 2007). Otros autores consideran que una variedad o ecotipo de quinua puede ser “dulce” si el contenido de saponinas oscila entre 20 y 40 mg por 100 gramos de peso seco, y “amarga” si el contenido es mayor a 470 mg por 100 g de peso seco (Mastebroek *et al.* 2000).

Sin embargo, la única aproximación para definir si una quinua puede ser clasificada como “dulce” es la aceptabilidad organoléptica para consumo humano, que oscila entre 0,06 y 0,12 %. Estos datos concuerdan con pruebas realizadas en la Universidad de Ambato (Ecuador), donde se determinó que el límite máximo de aceptación del contenido de saponinas en el grano cocido es de 0,1 % (Nieto & Soria 1991).

### 3.2.2. Genotipos de Quinua amarga y dulce.

Se han realizado varios esfuerzos dirigidos hacia la obtención de variedades con bajo contenido de saponinas, *e.g.* a través del mejoramiento genético clásico. La variedad Sajama, que se considera dentro de las “dulces”, es un ejemplo de lo que se puede lograr mediante el mejoramiento. Otros ejemplos de variedades logradas en Bolivia son Kurmi, Aynoq’a, K’osuña y Blanquita con un tamaño de grano de alrededor 2 mm, en Perú Blanca de Junin y en Ecuador Tunkahuán.

El mejoramiento clásico consiste en un cruzamiento artificial de dos progenitores seleccionados, para posteriormente hacer una selección individual de las primeras generaciones y selección combinada masal – individual en las generaciones avanzadas (Fundación PROINPA 2005). A pesar de ser una especie preponderantemente autógama siempre existe la posibilidad de cruzamiento. Este hecho hace que el manejo del cultivo de variedades y ecotipos que posean bajos contenidos de saponinas

esté expuesto a volver al carácter de alto contenido de saponinas. Sin embargo, un manejo técnico apropiado puede garantizar los niveles de saponinas en el tiempo, *e.g.* evitando el cruzamiento con variedades y/o ecotipos de quinua “amarga”.

Gandarillas (1979) sugirió en su momento que un locus (o loci) podría controlar la presencia o ausencia de saponinas en la quinua. Ward (2000) buscó mediante el método de hibridación, selección pedigrí, reducir el contenido de saponinas teniendo en cuenta que las progenies en  $F_6$  podrían ser altamente homocigotas; sin embargo, se concluyó que, después de tres ciclos de selección pedigrí, las plantas que presentaban menos de 1 mg/g de saponinas incrementaban el contenido de saponinas de 3,57 en  $S_1$  a 11 % en  $S_4$ . Estos resultados llevaron a la conclusión de que, tratándose de una especie alotetraploide con recombinaciones ocasionales entre cromosomas homólogos, resulta difícil la reducción del contenido de saponinas. El sólo hecho de que existan más de 20 tipos de saponinas (Kuljanabhadgavad *et al.* 2008) sugiere que un número considerable de locus podrían estar involucrados en la contribución a los diferentes niveles de saponinas detectados. Esto de alguna forma indica que lograr una homocigosis, que conduzca a una reducción en los niveles de saponinas, es aún inviable o al menos requerirá de un mayor conocimiento genético de la especie. Esta conclusión tiene algunos antecedentes en los trabajos de Risi & Galwey. (1989) y Jacobsen *et al.* (1996) quienes informaron que el contenido de saponinas, al ser una variable de distribución continua, estaría bajo un control poligénico. Sin embargo, es bueno mencionar que en estos trabajos no se especifica el tipo de material empleado, si el mismo hubiera sido una población integrada por variedades y/o ecotipos de quinua “dulce” y “amarga” en proporción variable, se esperaría una distribución normal.

La presencia o ausencia de saponinas y su relación con la mejor resistencia a ciertas plagas ha llevado a algunos investigadores a indagar sobre el papel que juegan las saponinas en la planta. Al momento las evidencias de protección provienen de observaciones de campo, particularmente en la zona del Altiplano Norte, Centro y Sur de Bolivia donde en función del gradiente de humedad de la zona y las variedades y ecotipos de quinua cultivadas

se puede estudiar la presencia o ausencia de saponinas y su relación con las plagas registradas.

En la Tabla 4 se muestran algunas variedades y ecotipos de quinua con diferentes niveles de saponinas que se cultivan en la región andina (Miranda 2010; Ward 2000), incluyendo los ecotipos de Quinua Real de la región del Altiplano Sur de Bolivia que tienen gran demanda y buenos precios en el mercado internacional por el tamaño del grano (Bonifacio *et al.* 2012), en la Figura 21 se observa el cultivo de este grano. También se incluye en la lista algunas variedades que actualmente se están cultivando en Europa (Pulvento *et al.* 2010).



Cultivos Fundación PROINPA

**Figura 21:** Ecotipo de Quinua Real negra en madurez fisiológica, quinua “amarga” (Cortesía: Fundación PROINPA)

Con todos estos antecedentes, se rescata el procesamiento agroindustrial para la remoción de saponinas (Bacigalupo & Tapia 2000).

“Dulce”	“Semidulce”	“Amarga”
Aynoq’a (Altiplano Central de Bolivia)	Chukapaca (Bolivia)	Horizontes (Bolivia)
Blanquita (Altiplano Norte de Bolivia y zona de transición entre Altiplano Norte y Central)	Kamiri (Bolivia)	Real (Altiplano Sur de Bolivia) <sup>a</sup>
Huaranga (Bolivia)	Boliviana Jujuy	Amarilla de Marangani (Perú)
Kancolla (Bolivia)	Regalona Baer (Chile)	CICA (Perú y Argentina)
K’osuña (Altiplano Sur y Central de Bolivia)		KVLQ520Y (Dinamarca)
Kurmi (Altiplano Norte y Central de Bolivia)		Cochasqui
Ratuqui (Bolivia)		Huatzontle
Robura (Bolivia)		Imbaya
Sajama (Bolivia)		Witulla
Samaranti (Bolivia)		
Sayaña (Bolivia)		
Ingapirca (Ecuador)		
Tunkahuán (Ecuador)		
Blanca de Juli (Puno, Perú)		
Blanca de Junin (Junin, Perú)		
Chewenca		
Illpa INIA		
Nariño		
Pasankalla		
Witulla		

**Tabla 4:** Ejemplo de algunas variedades y ecotipos de quinua clasificadas como “dulces”, “semidulces” y “amargas” (Fuente: Miranda 2010, Ward 2000, Bonifacio *et al.* 2012, Pulvento *et al.* 2010). <sup>a</sup> Se producen principalmente la Real Blanca, Toledo, Phisanqalla (grano rojo o café) y Ch’iara (grano negro)

### 3.2.3. Remoción de Saponinas.

La remoción de saponinas, desde los orígenes del consumo de la quinua como alimento por las culturas andinas, ha sido efectuada a través del uso de medios abrasivos y/o agua, y aplicación de temperatura y agentes químicos que contribuyen al proceso de remoción. Hoy en día, estos principios siguen vigentes, aunque los sistemas manuales han sido mecanizados parcial o totalmente.

#### (a) Sistemas Tradicionales de Remoción de Saponinas – Escala Artesanal

Los cultivos tradicionales de quinua en la región andina, en su mayoría variedades y ecotipos de grano amargo, deben ser escarificadas, lavadas y/o tostadas de acuerdo a su uso final, *e.g.* si es para la elaboración de harinas, sopas, bebidas, insuflados u otros (Alcocer 2010). En la Tabla 5 se presentan las etapas y los tiempos de procesamiento en el beneficiado de la quinua de acuerdo a su uso final.

Etapas	Tiempo de procesamiento <sup>a</sup> [min]			
	Pito <sup>b</sup>	Phisara <sup>c</sup>	Sopa <sup>d</sup>	Mukuna <sup>e</sup>
Tostado	29	36	33	36
Pisado	24	60	40	60
Venteado	20	40	40	40
Lavado	25	35	30	35
Secado		180	180	180
Venteado		10	10	10
Tostado – Molienda	90	0	0	0
<b>Total tiempo</b>	<b>188</b>	<b>361</b>	<b>333</b>	<b>361</b>

**Tabla 5:** Desaponificación del grano de quinua de acuerdo a su uso final. (Fuente: Elaboración propia).

<sup>a</sup>Los datos corresponden al procesamiento de aproximadamente 11 kg (25 lb) de quinua. <sup>b</sup>Grano de quinua tostado y molido. <sup>c</sup>Grano de quinua ligeramente tostado y graneado. <sup>d</sup>Grano de quinua cocida no muy espesa, con carne o charqui, tubérculos y verduras. <sup>e</sup>Panecillos (tipo bolas) de harina de quinua cocida a vapor, muy parecida a los tamales o humitas, y en el centro llevan una especie de aderezo.

En algunas comunidades de la región de los salares de Uyuni y Coipasa en Bolivia las saponinas se eliminan por vía seca. Sin embargo, en otras comunidades (Chacala - Potosí) la eliminación de saponinas se realiza por vía seca y húmeda; generalmente, son las mujeres las que realizan este trabajo. Los granos de quinua son tostados en un recipiente metálico (bateas) por un tiempo aproximado de 30 a 40 min, hasta que adquieran una coloración dorada, la eliminación de la humedad del grano contribuyen a un incremento en la fragilidad y facilidad de remoción del episperma. Cuando la quinua tostada todavía está caliente, se mezcla con un material abrasivo, arcilla extraída de la región de Llica denominado “pojkerá”, y se pisa sobre una piedra labrada llamada “saruna” o “tarquinaso”, el tiempo de pisado esta en un rango de 30 a 60 min, en esta etapa se remueve un porcentaje

importante de saponinas. Posteriormente, por un lapso de 20 a 40 min, los restos de episperma y material abrasivo se separa de los granos por venteo. Para terminar de remover las saponinas e impurezas, como piedrecillas y granos pequeños que se incorporan durante la cosecha, los granos son sometidos a un proceso de lavado de varias etapas por un periodo de 25 a 35 min, el parámetro de control de calidad del efluente es la inspección visual de la formación de espuma, *i.e.* efluentes libres de espuma son indicativo de que las saponinas han sido removidas. Finalmente la quinua es secada por un periodo de 2 a 4 h, hasta una humedad final aproximada de 18 %. Dependiendo del uso final, algunas veces puede realizarse un nuevo venteo y tostado. En la Figura 22 se puede apreciar las etapas descritas.





**Figura 22:** Proceso tradicional de remoción de saponinas, a nivel artesanal (Altiplano Boliviano). Etapas de tostado, pisado, venteado, lavado y secado (Cortesía: Fundación PROINPA)

En Argentina, en la zona casi límite con Chile (Santa Catalina - Jujuy) el proceso de desaponificación es muy similar al descrito. En cambio en el noroeste, el proceso tradicional de remoción de saponinas se limita al lavado del mismo. Este lavado se realiza colocando una cierta cantidad de granos (entre 5 a 10 kg) en bolsas de tela o de material sintético cuya capacidad es de 50 kg. Luego un operador la sumerge en agua, de ríos y/o arroyos, y la persona sujetando la bolsa por ambos extremos, realiza movimientos con los brazos hacia arriba y abajo, lo que lleva a que los granos rocen entre sí y con la ayuda del agua las saponinas se solubilizan y son vehiculizadas aguas abajo. Este proceso de movimiento de brazos se repite hasta que no se percibe formación de espuma en el agua. Posteriormente, las semillas se secan sobre chapas de zinc previamente colocadas al aire libre.

En Perú y Ecuador la eliminación tradicional de saponinas de los granos de quinua se realiza principalmente por vía húmeda, *i.e.* lavado manual con abundante agua sobre una superficie abrasiva (piedra) hasta remover las capas superficiales de los granos (Nieto & Valdivia 2001).

La remoción tradicional de saponinas demanda tiempo y esfuerzo, *e.g.* en las zonas productoras de quinua del altiplano boliviano, se requiere entre 3 a 6 h para desaponificar aproximadamente 11 kg (25 lb) de quinua. Estas técnicas son válidas cuando los volúmenes de quinua a beneficiar son pequeños, *i.e.* a escala familiar para autoconsumo.

#### (b) Sistemas Actuales de Remoción de Saponinas.

Por muchos años las empresas beneficiadoras de quinua han tenido que usar o adaptar maquinaria, equipos y tecnología originalmente desarrollada para el beneficiado de arroz, trigo, soya y sorgo. Los volúmenes de producción pequeños, en comparación a los cultivos mencionados, y el número reducido de empresas beneficiadoras a nivel mundial hacían poco atractivo el desarrollo de maquinaria, equipos y tecnología apropiada para este sector.

Sin embargo, durante los últimos 10 años, la quinua ingresó a un auge silencioso, pasando de ser un producto destinado únicamente al autoconsumo del agricultor del altiplano y valles interandinos a uno de gran valor comercial a nivel mundial, con incrementos sustanciales de las áreas de cultivo

no sólo en los países de origen sino también en otros, donde ha sido introducida. Según algunos autores este fenómeno se debe principalmente al incremento en la demanda de granos libres de gluten del 0,4 % de la población mundial que padece celiaquía, al incremento en la demanda por productos orgánicos de alta calidad a precios justos y la implementación de programas alimentarios eficientes impulsados por organizaciones tales como la FAO en varios países (Birbuet & Machicado 2009).

Por tanto, la creciente demanda por maquinaria, equipos y tecnología adecuada que responda a las necesidades y características particulares de la quinua que permita incrementar la eficiencia y capacidad de procesamiento y que sea accesible económicamente a las empresas beneficiadoras, han impulsado a que equipos de investigadores y tecnólogos empiecen a trabajar en nuevas opciones innovadoras.

Bacigalupo y Tapia (2000) hicieron una excelente revisión de los procesos mecanizados utilizados en la remoción de saponinas de la quinua en la Zona Andina (Perú, Bolivia y Ecuador), describiendo los procesos y las configuraciones desarrolladas desde 1950, tanto a nivel piloto como a escala industrial. Evaluaron comparativamente las ventajas y desventajas entre los procesos húmedos, secos y combinados, desde el punto de vista de los efectos sobre la calidad nutritiva del grano tratado, la eficacia de remoción de saponinas, consumos de agua y energía y la economía de los procesos.

Entre los procesos de vía seca, resaltan dos estudios: i) la escarificadora de Torres y Minaya, desarrollada en 1980, con una eficacia del 95 % y contenidos de saponinas en el grano entre 0,04 y 0,25 % según la variedad o ecotipo de quinua procesada y ii) el prototipo específico de flujo continuo para vía seca desarrollado en Ecuador por Valdivieso y Rivadeneira en 1992, cuyas lotes de quinua amarga de 75 kg/h redujeron la concentración de saponinas en el grano a 0,026 % y de grano quebrado a 1,5 %.

Entre los procesos húmedos, destacan los resultados obtenidos en el Proyecto Huarina donde, en 1983, Reggiardo y Rodríguez desarrollaron un sistema de tres etapas de lavado, a escala piloto: remojo, agitación turbulenta y enjuague, seguido de un proceso de secado en un túnel de aire caliente,

obteniendo granos de buena calidad y aceptación en los mercados bolivianos.

Finalmente, dentro de los procesos combinados, que involucran las etapas de escarificación, lavado y secado, destacan el proceso desarrollado por Derpic en 1988, cuyos atributos más importantes son, la eficacia de remoción del escarificado (65 %), la baja humedad adquirida por el grano en el lavado (17 - 30 %), que facilita el proceso de secado, la baja concentración de saponinas en el agua de lavado que mitiga los posibles efectos ambientales del proceso combinado, aunque las saponinas al ser solubles en agua no son removidas de los efluentes. Los trabajos de Zavaleta (1982) contribuyeron en gran manera a la comprensión del proceso de extracción de las saponinas por esta vía. Estos autores recomiendan el escarificado para variedades dulces y el método combinado para variedades de alto contenido de saponinas, debido a sus ventajas en ahorro de agua consumida, buena calidad proteica de los granos procesados, costo mínimo de energía utilizada y bajo costo del proceso.

El método combinado a escala industrial ha sido preferido por la mayoría de las empresas beneficiadoras en la actualidad, fundamentalmente debido a la eficacia de remoción de saponinas y mantenimiento de la calidad del grano, logrando satisfacer los requerimientos internacionales, especialmente para la Quinua Real orgánica. También es importante mencionar el aporte de la Asociación Nacional de Productores de Quinua de Bolivia en el escalamiento industrial para el beneficiado de volúmenes mayores.

En esta revisión se describen y analizan tales innovaciones que, sobre la base de las experiencias anteriores, se han ido desarrollando principalmente desde el año 2000, con la aplicación de los criterios de Producción Más Limpia en el diseño y operación de las etapas de escarificado, lavado y secado. También se describen otras innovaciones para el beneficiado en seco a escala de laboratorio y semi-industrial, además de otros desarrollos de escala casera que aplican el sistema combinado.

#### *Sistemas a Mediana Escala.*

En Canadá, durante los años 80, se ha desarrollado una escarificadora por abrasión tangencial (Tangential Abrasive Dehulling Device) de escala

pequeña, para replicar la acción abrasiva de descascarilladores de escala industrial (Reichhert *et al.* 1986). Los autores reportaron una eficacia del 85 - 95 % para remoción de saponinas de quinua. Este equipo, diseñado también para descascarillar otras semillas, consiste de un disco abrasivo horizontal rotatorio; un plato estacionario que sostiene 8 vasos de fondo falso de acero inoxidable, montados verticalmente sobre el disco rotatorio. Una cubierta provista de una goma que se usa para cubrir los vasos cuando la máquina esta en operación. Se usan unas cuñas para ajustar los espacios entre el disco rotatorio y los vasos por donde se alimentan los granos, de tal manera que se permite a un ventilador soplar la cascarilla, los granos partidos y los finos hacia un ciclón y un recipiente adherido al escarificador. Los granos escarificados se colectan mediante un aspirador al vacío (Opoku *et al.* 2003)

En Argentina, para el procesamiento de mayores volúmenes de semillas se usan mezcladoras/licuadoras industriales adaptadas para el lavado de los granos, que funcionan a bajas velocidades de giro con una capacidad de procesamiento entre 10 y 20 kg en un tiempo de 30 min en cada lavado. El secado posterior de las semillas se realiza en túneles destinados al secado de pimienta que es básicamente un invernáculo aéreo, que posee un piso y techo de polietileno, lo que crea un efecto de calentamiento diferencial. Ambos extremos del túnel están abiertos para facilitar la entrada y salida de aire.

En Bolivia, dentro de un proyecto que intenta facilitar el procesamiento y consumo de la quinua y mejorar la condición nutricional de las comunidades rurales productoras del Altiplano Sur se ha desarrollado un equipo casero para remover las saponinas de la quinua con capacidad de procesamiento de 12 kg en 7 min, replicando el procedimiento tradicional que implica las etapas de tostado, escarificado, venteado, lavado y secado que toma a una mujer un tiempo de hasta 12 horas (Astudillo 2007). Se hicieron demostraciones de manejo de la máquina en varias localidades, logrando una buena aceptación por parte de las comunarias.

A fin de promover el consumo de quinua entre las familias productoras del Altiplano Sur de Bolivia, cuyo consumo se ha reducido drásticamente por los cambios en los hábitos alimenticios, morosidad en la remoción de las saponinas a nivel artesanal

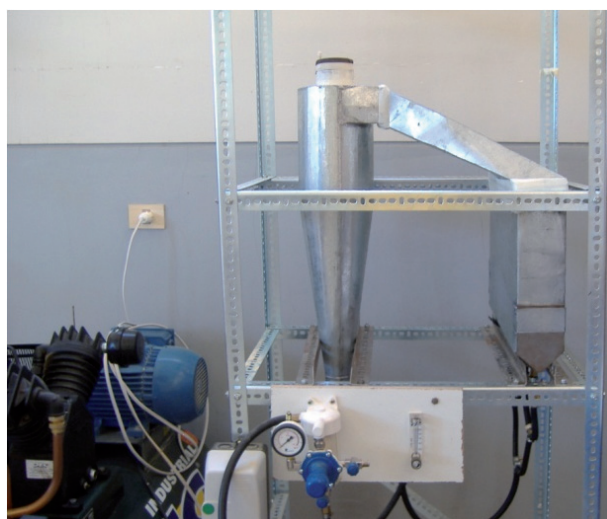


y los buenos precios de la quinua en el mercado internacional, el año 2008 la Empresa Rowland construyó una microbeneficiadora que procesa 45 kg/h de quinua, el uso de este equipo. La Fundación PROINPA ha promovido el uso de este equipo entre los productores de Chacala, Chita entre otras. El equipo tiene un peso de 30 kg y un tamaño de 70 cm de largo por 30 cm de ancho y 80 cm de alto que funciona con un motor eléctrico o a gasolina para aquellas zonas en las que no se cuenta con energía eléctrica, el motor a gasolina más pequeño en el mercado es de 5,5 hp; sin embargo, sólo se usa 0,5 hp que corresponde a 0,25 L/h de consumo de gasolina. Los granos de quinua ingresan a una tolva de alimentación que tiene una inclinación de 30°, para posteriormente pasar al escarificador cilíndrico de 15 cm de ancho por 60 cm de largo, cuyas aberturas de entrada y salida son de 2 cm por 6 cm. En el escarificador los granos se frotan entre ellos y contra las paredes del cilindro a medida que son transportados por el tornillo sin fin que gira constantemente y los mueve a través de un cilindro enmallado por donde las saponinas son expulsadas gracias al movimiento del aire generado por las paletas que tiene el tornillo sin fin. La velocidad de alimentación puede ser controlada mecánicamente con una compuerta de acceso y una transmisión de fuerza por polea mediante un motor. Se puede alimentar junto con la quinua la pojkerá. En la Figura 23 se observa la microbeneficiadora comercial



**Figura 23:** Microbeneficiadora que procesa 45 kg de quinua/h (Fuente: Astudillo 2007)

En el 2010, un grupo de Investigadores de la Universidad Privada Boliviana (UPB) desarrollaron a escala de laboratorio, una novedosa aplicación del lecho fluidizado de tipo surtidor (LFTS), utilizado comúnmente para el secado de granos de cereales, esta vez aplicado a la remoción seca de saponinas de las quinuas amargas. En un LFTS, aire es introducido en dirección ascendente desde las boquillas, formando un canal central donde los granos son arrastrados hacia arriba hasta por encima del relleno, de donde vuelven a caer a una región anular de flujo sólido descendente, hasta llegar a la base y ser nuevamente impulsados hacia arriba a altas velocidades lineales, conllevando gran impulso y energía suficiente para que las fricciones entre los granos provoque la abrasión del episperma. En la Figura 24 se observa el prototipo piloto.



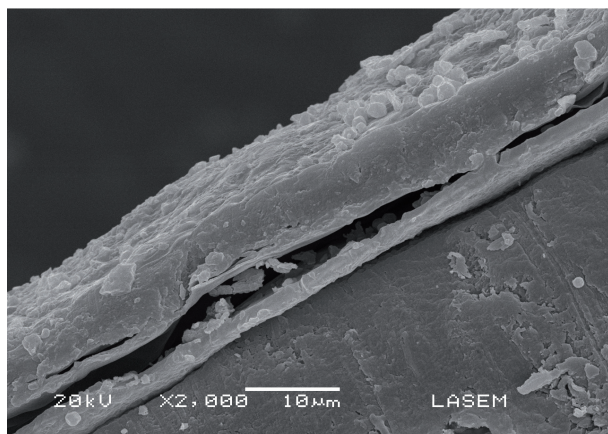
**Figura 24:** Reactor de Lecho Fluidizado de Tipo Surtidor para la remoción en seco de saponinas (Cortesía: UPB)

Utilizando tres ecotipos comerciales de Quinua Real y sus mezclas, el proceso seco propuesto ha logrado reducir la concentración de saponinas en los granos hasta valores menores al 0,01 % que refleja un estándar comercial de exportación y mucho menores al 0,12 % estipulado por la Norma Boliviana NB 063 en tiempos menores a los 30 min y ha logrado recuperar completamente los polvos de saponinas (Escalera *et al.* 2010, Quiroga *et al.* 2011). También se han logrado pérdidas de masa menores al 5 % (valor considerado común en los

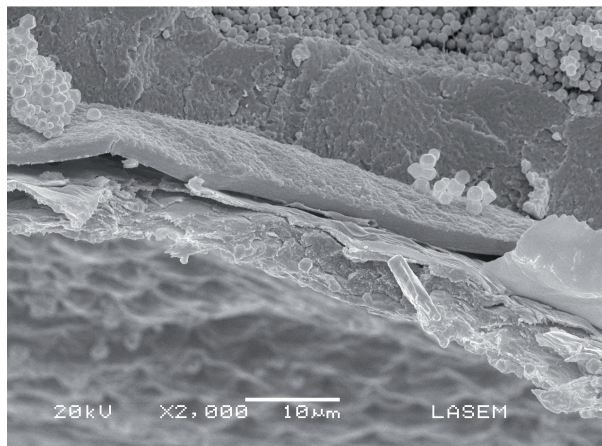


procesos convencionales por vía combinada) y se ha disminuido el consumo específico de energía a 0,23 kWh/kg (Obando *et al.* 2011). Adicionalmente, se ha logrado aumentar la concentración de saponinas en el polvo recuperado hasta aproximadamente el 6 %, mayor que el 3,9 % medido en el polvo procedente de la etapa de escarificado dentro del proceso combinado convencional (Subieta *et al.* 2011).

La calidad nutritiva del grano no se deteriora, aspecto que se evidencia en los incrementos de contenidos de proteínas y lípidos como consecuencia de la pérdida de masa del episperma (Quiroga & Escalera 2010). Los granos de quinua procesados no muestran signos visibles de daños en la superficie, incluyendo el embrión. La remoción de las capas más externas del episperma es más homogénea y controlada en el beneficiado en seco propuesto, que en el beneficiado vía combinada donde los granos son escarificados, lavados, secados y venteados. La apariencia y el espesor final del episperma remanente en el grano, producto terminado, son muy parecidos al de la quinua procesada con la tecnología disponible en el mercado, como se muestra en la Figura 25 y 26 (Quiroga *et al.* 2010).



**Figura 24:** Reactor de Lecho Fluidizado de Tipo Surtidor para la remoción en seco de saponinas (Cortesía: UPB)



**Figura 26:** Micrografía SEM de Quinua Real producto terminado de la empresa Cereales Andina con tecnología del Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (Fuente: Quiroga & Escalera 2010)

Estos logros establecen la potencialidad de esta innovación para superar los problemas técnicos y ambientales generados por la tecnología actualmente aplicada al beneficiado de la quinua. El proceso necesita ser estudiado a nivel de escala semi-industrial.

#### (c) Sistemas a Escala Industrial.

Las empresas beneficiadoras de quinua emplean principalmente el método combinado para la remoción de saponinas a fin de cumplir con los estándares de calidad exigidos en el mercado. Sin embargo, por años, los puntos críticos del proceso han sido las etapas de remoción de las saponinas e impurezas y la humedad de los granos. Actualmente en Bolivia existen 62 plantas procesadoras (Tabla 6), siendo el 16 % artesanales, el 27 % semi-industriales y el 57 % industriales. El 40 % de las plantas procesadoras industriales se encuentran en Oruro, 25 % en La Paz y 35 % entre Potosí, Cochabamba y Chuquisaca. La tecnología de beneficiado que emplean varía de artesanales a muy complejas y sofisticadas (IBCE 2012).

Departamento	Artesanal	Semi-industrial	Industrial
Chuquisaca	-	-	3
Cochabambaa	-	5	4
La Paz	3	8	9
Oruro	6	2	14
Potosí	1	2	5

Tabla 6: Plantas procesadoras de quinua según departamentos (Bolivia) (Fuente: IBCE 2012)

Entre los aportes más significativos a escala industrial está la tecnología desarrollada por el Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS), que aprovecha, fundamentalmente, las propiedades físicas del episperma del grano. Los granos se someten primeramente a un proceso de limpieza de impurezas en un clasificador preliminar (Figura 27) y la remoción de las saponinas de los granos se realiza a través de un escarificador (Figura 28) que consta de 2 componentes: i) el sistema de escarificación; y ii) el sistema de extracción y recolección de polvo.



**Figura 27:** Clasificador preliminar (Cortesía: CITY & UPB)



**Figura 28:** Escarificador (Cortesía: CITY & UPB)

El escarificador tiene un rotor que gira dentro de un tambor cilíndrico, dicho rotor posee “costillas” dispuestas de manera tal que impulsan al grano de quinua presionándolos contra sí mismos, este diseño produce un intenso rozamiento entre los granos de quinua, lo cual conduce al desgaste más uniforme del episperma. El tambor cilíndrico, en su parte inferior, posee una placa metálica perforada que no permite el paso del grano de quinua, pero deja pasar el polvo de saponinas, también



denominado “mojuelo”, el cual es evacuado por el sistema de extracción y recolección de polvo. La extracción del episperma se produce aprovechando las propiedades abrasivas de la propia superficie del grano, reduciendo de esta manera el daño al embrión, que se produce por el “cepillado” o frote de los granos contra superficies abrasivas. La eficacia de remoción de saponinas en el escarificador es de 90 - 95 %. La magnitud del diámetro externo y de la longitud del cilindro, junto con otros parámetros de diseño, determinan la capacidad de procesamiento del escarificador. La velocidad de rotación del rotor puede variar entre 1 200 y 1 600 rpm y el espesor de las costillas de presión y de las costillas expulsoras pueden variar entre 8 y 12 mm.

El sistema de extracción y recolección de polvo está constituido por un colector de forma trapezoidal, una turbina de aire que opera en modo de extracción, y un sistema de retención del polvo de saponinas. El colector trapezoidal está construido de plancha de hierro común de un 1 mm de espesor. El colector termina en una boca de salida cilíndrica, la cual está conectada al tubo de entrada de aire de la turbina mediante una goma en forma de codo, a fin de disminuir tensiones y facilitar el mantenimiento de la turbina. A su vez, el extractor de polvo está constituido por la turbina de aire, cuyo rotor es de 25 cm de diámetro. Finalmente, la retención de polvo de saponinas está conformada por dos manufacturas con forma cúbica, hechas de tela de yute, y colocadas una dentro de la otra. La manufactura interna tiene un área total de poco más de 5 m<sup>2</sup>, y recibe el caudal de aire y polvo, expulsado por el extractor, a través de un tubo que penetra la manufactura externa e ingresa dentro de la manufactura interna.

La remoción de saponinas se completa a través de un sistema de limpieza del grano por vía húmeda consistente en un despedregador-remojador, seguido de un lavador, un segundo despedregador-preenjuagador y un enjuagador (Figura 29) y finalmente un centrifugador (Figura 30). El sistema incluye bombas para alimentar el agua y recircular el agua de enjuague que sale de la centrifugadora. El lavador consigue simular una trayectoria laminar del grano a través de un flujo turbulento que garantiza que el primer grano en entrar sea el primero en salir. El tiempo de residencia es de aproximadamente 5 min y está etapa, debido a la alta eficiencia de la

etapa del escarificado, demanda volúmenes de agua entre 5 a 7 m<sup>3</sup>/t de quinua procesada. En el proceso se consigue eliminar el 100 % de piedrecillas de alta densidad, un 60 % de piedrecillas de baja densidad y obtener 0,01 % remanente saponinas en el grano lavado (CPTS 2006).



**Figura 29:** Sistema de limpieza húmeda (Cortesía: CITY & UPB)



**Figura 30:** Centrifugador (Cortesía: CITY & UPB)

Posteriormente, el grano se deshidrata en un secador compuesto de un generador de aire caliente (Figura 31) y 4 mesas de secado (Figura 32) que operan con GLP o gas natural y un flujo de aire 38 m<sup>3</sup>/min impulsado por una turbina de alta eficiencia de 2 hp, para una capacidad de procesamiento de 600 kg/h de grano seco (CPTS 2006).



**Figura 31:** Generador de aire caliente (Cortesía: CPTS)



**Figura 32:** Mesas de secado (Cortesía: CITY & UPB)

El grano seco se clasifica nuevamente para obtener el grano más homogéneo en un clasificador granulométrico, se limpia en un despedregador densimétrico (Figura 33), se limpia de pajas en un venteador accionado por un motor eléctrico. Los granos de color diferente son separados mediante un clasificador óptico-neumático en dos a tres pasos

(Figura 34). Finalmente, se procede a una operación de “pallado” manual para eliminar el 100 % de las impurezas remanentes del grano de quinua a ser envasado como producto final de exportación.



**Figura 33:** Despedregador densimétrico (Cortesía: CITY & UPB)



**Figura 34:** Clasificador óptico-neumático (Cortesía: CITY & UPB)

Actualmente, se estima que alrededor del 75 - 80 % de la Quinua Real orgánica que exporta Bolivia se beneficia con esta tecnología que ha permitido incrementar la capacidad de procesamiento en régimen continuo hasta 8 veces. La aplicación



de los principios de Producción Más Limpia en el diseño y construcción de los equipos han permitido minimizar los impactos sobre el medio ambiente, especialmente en el consumo de agua y energía, y la reducción y recuperación de residuos (polvo de saponinas). Tanto el sistema de escarificado como el sistema de lavado reducen las pérdidas de materia prima y mantienen las cualidades nutricionales del grano.

En la Tabla 7 se presentan los resultados de operación de los prototipos de la tecnología desarrollada por el CPTS en la empresa Andean Valley. Dichos prototipos fueron instalados el año 2006 y en la actualidad siguen funcionando en dicha empresa.

Actualmente estos equipos son construidos y ofertados por la empresa Complejo Industrial y Tecnológico Yanapasiñani S.R.L. (CITY) de El Alto, La Paz.

Parámetro	Situación		Diferencia
	Anterior	Actual	
Capacidad de beneficiado de grano de quinua [TM/h]	0,09	0,66	0,57 (800%)
Porcentaje de pérdida de materia prima [%]	3,5	1,0	2,5
Porcentaje de recuperación de polvo de saponinas [%]	0,0	85,0	85,0
Potencia eléctrica instalada de solo la tecnología reemplazada [kVA]	31,5	15,3	16,2 (51%)
Consumo específico de energía eléctrica [kWh/TM de quinua]	101,6	23,2	77 (80%)
Consumo específico de agua [m <sup>3</sup> /TM de quinua]	14	9	5 (36%)
Consumo específico de GLP [kg/TM de quinua]	33	12	21 (64%)

**Tabla 7:** Situación de la empresa Andean Valley S.A. antes y después de la implementación de la tecnología desarrollada por el Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles.

## 1. Procesamiento de la quinua (Agroindustria)

Los productos derivados del beneficiado y procesamiento industrial son la quinua perlada, graneado, hojuelas, harina, expandido, colorantes, pastas, extruidos y otros (Mujica *et al.* 2006). A continuación se describen los procesos básicos de algunos de ellos junto con investigaciones sobre los efectos de los diversos procesos sobre la calidad nutricional de los derivados e investigaciones sobre la elaboración de productos potenciales como los aceites, concentrados y aislados proteicos.

### 4.1. Hojuelas de quinua.

Para la obtención de la hojuela de quinua, el grano es previamente desaponificado siguiendo el proceso de la quinua perlada, para luego secarlo

hasta una humedad aproximadamente entre 15 y 16 %. Las hojuelas de quinua se obtienen sometiendo el grano a presión entre rodillos de giro convergente, proceso muy similar al laminado de la avena. El tamaño de las hojuelas depende de la variedad y del uso final que se le dé, *e.g.* se puede tener un espesor entre 0,1 y 0,5 mm (Mujica *et al.* 2006). La integridad de las hojuelas depende de la variedad y más que todo de la plasticidad del almidón (perispermo) del grano y la adherencia del embrión al perispermo. Las variedades dulces han conservado mejor la integridad de las hojuelas, en cambio, las amargas tienden a desintegrarse y formar mayor proporción de la parte fina o sémola que está formada por partículas finas del embrión (proteína).

Las hojuelas de quinua amplían las formas de

utilización de la quinua, puesto que se emplean en la elaboración de jugos de quinua con frutas (manzana, piña, mango), sopas, tartas, tortas y queques. En la preparación de sopas y jugos, las hojuelas se cocinan en menor tiempo que el grano, lo cual favorece al uso y consumo.

#### 4.2. Expandidos o pisankalla de quinua.

Los expandidos de quinua provienen del grano de quinua perlada. El grano acondicionado entre 14 y 15% de humedad, es sometido a un proceso de cocción a alta temperatura y alta presión (145 a 165 psi), para luego ser expulsado al exterior sufriendo cambios bruscos de temperatura y caída de presión, lo que ocasiona la expansión brusca de los granos y expulsión de la humedad interna en forma de vapor, provocando su reventado, obteniéndose un producto ligero y de buen volumen que puede ser saborizado o endulzado (Mujica 2013).

Reynaga *et al.* (2013b), evaluaron ecotipos de quinua real en proceso de expansión del grano, encontrando que los ecotipos Pisankalla y Mok'o presentan altos índices de expansión, siendo 1,95 para ambos ecotipos. El ecotipo o variedad Pisankalla es conocido por su propiedad de mayor expansión en el tostado tradicional, lo que está confirmada con los reportes citados. Los expandidos de quinua se emplean de diversas maneras, como cereales instantáneos, como base para las barritas energéticas entre otras formas. En el Perú y en otras zonas, el expandido de quinua se conoce como maná de quinua (Mujica *et al.*, 2006).

Sin embargo, la calidad nutricional de la quinua puede deteriorarse en el proceso. Talavera (2003, citado por Mujica *et al.* 2006), encontró niveles de proteína en los expandidos de diferentes variedades, siendo de 12,6 % para Salcedo INIA, 10,4 % para Sajama, 9,4 % para Blanca de Juli y 6,9 % para Kancolla. Lo anterior muestra que el porcentaje de proteína se reduce considerablemente en los productos expandidos. Según Villacres *et al.* (2013), el proceso de expansión también provoca una disminución de los ácidos palmítico, oleico y linoleico.

En el saber local, la pisankalla es el producto expandido de quinua que se procesa artesanalmente y se consume desde milenios atrás. Para la obtención de pisankalla se emplea variedades específicas, siendo este de grano rojo o negro según el color del

epispermo, este tipo de variedades se conoce como Pisankalla y Quytu. El expandido se logra colocando un puñado de grano acondicionado (humedad apropiada) a una olla de arcilla (jiwki) y calentado con bosta de vaca o estiércol de llama. El grano se tuesta bajo agitación constante. El grano así tostado se emplea directamente para el consumo o molido a manera de producto instantáneo.

#### 4.3. Harina.

La harina de quinua se obtiene moliendo la quinua desaponificada mediante presión y fricción, luego sometido a un ventilado para mejor pulverización. La harina de quinua se puede emplear casi en todos los productos de la industria harinera, se puede adicionar hasta 40 % de harina de quinua en el pan, 40 % en las pastas, 60 % en bizcochos y hasta 70 % en galletas (Mujica *et al.* 2006). Por su parte, Reynaga *et al.* (2013b), reportan que para la panificación se sugiere la relación de 19 % de harina de quinua y 81 % de harina de trigo.

En la forma tradicional, la harina de quinua se obtiene empleando variedades aptas para el proceso conocidas como aku jupa que generalmente tienen grano pequeño. El grano de estas variedades una vez desaponificado se muele en molinos artesanales de piedra (qhuna). La harina obtenida de esta manera, se emplea en diferentes platos y macitas tradicionales. La experiencia de los productores sostiene que la harina procesada en qhuna se almacena por mayor tiempo sin que el producto sufra alteraciones. Reynaga *et al.* (2013b), sostienen que la harina obtenida con molino de piedra tiene mejores características granulométricas en comparación al obtenido en molino de martillos.

Bonifacio *et al.* (2013) sugieren que algunas variedades pueden ser utilizadas en formulaciones alimenticias para bebés, por los menores tiempos requeridos de gelatinización de sus almidones. Por otra parte, los almidones de quinua blanca y Pisankalla pueden ser utilizados como espesantes en cremas y sopas (Pumacahua *et al.* 2013).

#### 4.4. Fideos.

Los fideos o pastas son productos alimenticios resultantes del amasado y moldeado de mezclas no fermentadas de harina de trigo con agua potable (Mujica *et al.*, 2006). La harina de quinua ofrece

alternativas para la industria de fideos o pastas; sin embargo, dentro la diversidad de quinua, no se conoce las variedades más aptas para la industria de pastas. Reynaga *et al.* (2013a), estudiaron la calidad industrial de la quinua real de Bolivia, encontrando que la mejor relación para fideos es de 21 % de harina de arroz (malla 45) y 79 % de harina de quinua (malla 45).

Reynaga *et al.* (2013b), probaron la harina de quinua en la elaboración de pastas libre de gluten, para ello emplearon con buenos resultados la variedad local Pisankalla y en mezclas de 50 % de harina de arroz y 50 % de harina de quinua, además trabajaron reduciendo a 25 % la harina de arroz e incrementando la harina de quinua a 75 % con resultados satisfactorios.

#### 4.5. Extruidos.

La extrusión de alimentos es un sistema de cocción de alta temperatura, elevada compresión e intenso esfuerzo cortante (cizallamiento) en periodos cortos. Se utiliza como medio de reestructurar material alimenticio con contenido de almidón y proteínas y de esta forma elaborar diferentes tipos de alimentos texturizados.

Según Mujica *et al.* (2006), en este proceso se producen los siguientes fenómenos: a) gelatinización y dextrinización del almidón, texturización de las proteínas y la desnaturalización parcial de las vitaminas presentes; b) fusión y plastificación del alimento y c) expansión por evaporación instantánea de la humedad.

En el caso de extruidos de quinua sola y/o combinada, la quinua perlada se hidrata hasta un 15 % de humedad por 25 min; se introduce a la zona de alimentación del extrusor, para pasar a la zona de transición termo mecánica, donde se realiza el mezclado, comprimido y amasado de la materia prima, transformándola de una estructura granular a una masa semisólida plástica. Este proceso se lleva a cabo entre 150 y 160 °C y 1,2 atm de presión por 5 a 12 s. La masa es extruida por los orificios de la boquilla de la máquina y cortada a la salida por una cuchilla rotatoria para obtener la forma deseada del producto final. Este sistema no afecta la calidad nutricional y organoléptica, *i.e.* el compute químico o score proteínico se mantienen casi estables en relación a la materia granular no extruida, además, se obtiene un producto alimenticio aséptico y

aceptable por el consumidor (Mujica *et al.* 2006).

#### 4.6. Productos potenciales.

##### *Aceites.*

La quinua posee un importante contenido de aceite que varía entre 2 y 11 % en 555 accesiones bolivianas estudiadas, con un promedio de 6,39 %. La calidad del aceite es buena por el alto porcentaje de ácidos grasos insaturados (aproximadamente 89 %), de los cuales entre 50 a 56 % corresponde al linoleico (omega 6), 21 a 26 % al oleico (omega 6) y 4,8 a 8,1 % al linolénico (omega 3) (Fundación PROINPA 2011). Por esta característica, la quinua ayuda a reducir el colesterol malo (LDL) y elevar el colesterol bueno (HDL), aspecto que la convierte en una fuente potencial para la producción de aceite como derivado.

##### *Concentrados y aislados proteicos.*

Por su alto contenido de proteínas, 12 - 18,9 % en 555 accesiones bolivianas estudiadas (Fundación PROINPA 2011), y como proveedora de todos los aminoácidos esenciales, la quinua se hace especialmente atractiva para la producción de concentrados y aislados proteicos (> 80 %), que pueden ser utilizados como componentes principales en formulaciones alimenticias de alto valor agregado.

Para obtener la proteína concentrada de quinua o aislado de proteína en un proceso típico de laboratorio (Mujica *et al.* 2006), primeramente se debe obtener el embrión o germen de quinua desgrasado. Para ello el grano de quinua previamente se limpia de sus impurezas, tierra, residuos pequeños de cosecha, luego se procede al lavado o desaponificado hasta que las saponinas sean eliminadas completamente, luego se remoja el grano para que germine y una vez germinada se efectúa una molienda gruesa, para separar el embrión del almidón. Posteriormente el germen es secado, molido y se extrae la grasa. El germen de quinua desgrasado es sometido a una extracción alcalina en caliente (pH 11,5 a 50 °C), centrifugación, lavado con agua, otra centrifugación, obteniendo un residuo sólido el cual es sometido a una precipitación isoeléctrica a pH 4,8, para centrifugarlo nuevamente a fin de eliminar el líquido. Posteriormente el sólido es lavado con agua, centrifugado y finalmente pasa a

la etapa de secado al vacío (30 °C), obteniéndose el aislado proteico o proteína concentrada de quinua, con características funcionales adecuadas.

Usando el germen desgrasado de la variedad Kancolla, Guerrero (1989, citado por Mujica *et al.* 2006) obtuvo un aislado seco en producto granular y en polvo de color crema, sin ningún olor, ni sabor. La composición química proximal en base seca fue: proteína 87,8 %, grasa 0,22 %, fibra 1,3 %, cenizas 1,4 % y carbohidratos 9,28 %; asimismo presentó un adecuado balance de aminoácidos, excepto los azufrados, siendo la utilización neta de proteína de 48,5.

Mufari *et al.* (2013) compararon la precipitación isoelectrica tradicional y el método enzimático para la obtención de concentrados proteicos de quinua. El método enzimático utilizó cuatro enzimas:  $\alpha$ -amilasa, glucoamilasa, pululanasa y celulasa, en presencia de un buffer de acetato de sodio a pH 5, con el objeto de convertir el almidón y la celulosa en glucosa la cual queda soluble, obteniéndose un residuo enriquecido en proteínas. No obstante se lograron menores concentraciones de proteína (38 %) en comparación del método tradicional (53 %), el método enzimático favorece una mayor recuperación de las proteínas iniciales, un 43 % respecto del 15 % que se recupera con el método clásico, de la ventaja adicional de obtener un sobrenadante rico en glucosa como subproducto. Los autores plantean optimizar las condiciones para obtener mayores concentraciones de proteínas.

#### *Almidones.*

La quinua también es una fuente importante de carbohidratos. El contenido de almidón es de 54 % en base seca, el gránulo tiene forma poligonal con un tamaño entre 0,6 y 2,0  $\mu\text{m}$  y se encuentra localizado en el perisperma como entidades individuales o agregados compuestos con forma esférica u ovalada y tamaño entre 16 y 34  $\mu\text{m}$  (Ruales & Nair 1994a). Otros autores (González *et al.* 1989) informaron valores de 32,6 % para la variedad Sajama. El contenido de amilosa está entre 7,1 y 11,2 % y la estructura molecular de la amilopectina es muy parecida al del almidón ceroso, con un grado de cristalinidad de 35 % aproximadamente (Tang *et al.* 2002; Qian & Kuhn 1999).

La digestibilidad del almidón no varía significativamente cuando los granos son

procesados, *e.g.* el grano sin procesar tiene una digestibilidad de 72 % y el precocido a 60 °C por 20 min de 77 %. Una mayor dextrinización del almidón mejora las características de empaste y palatabilidad, *i.e.* sabor y textura, del producto final (Ruales & Nair 1994b).

En comparación al almidón del trigo y la cebada, el de la quinua muestra una mayor viscosidad, capacidad de retención de agua y poder de hinchamiento, también la temperatura de gelatinización es ligeramente mayor. Resultados que se reflejan en un mejor desempeño como agente espesante para rellenos, pero pobre para la elaboración de panes y queques en base a almidón de quinua (Lorenz 1990). Sin embargo, en comparación con el almidón de maíz, el almidón de quinua tiene una menor solubilidad y viscosidad (Ahamed *et al.* 1996).

Por sus características fisicoquímicas, el almidón de quinua ha sido la base para la elaboración de alimentos para bebés. También hay que resaltar la estabilidad al congelamiento y descongelamiento, fenómeno conocido como estabilidad a la retrogradación, para la preparación de alimentos congelados pre-elaborados. Algunos autores también resaltan la naturaleza opaca del almidón gelatinizado para que pueda ser usado en productos alimenticios emulsionados como los aderezos para ensaladas (Ahamed *et al.* 1996). También

## **2. Discusión.**

Para responder al crecimiento de la producción de quinua en los últimos años, las etapas de cosecha y poscosecha han sido objeto de constantes innovaciones tecnológicas a escala industrial, en sustitución de las prácticas agrícolas manuales, usadas tradicionalmente en la producción del grano andino. Inicialmente se empleó maquinaria agrícola ideada para otro tipo de granos, posteriormente se fue adecuando a las características y necesidades de la quinua y finalmente se promovió el desarrollo y construcción de maquinaria apropiada para este cultivo.

La mecanización que se está dando en la producción de la quinua conlleva ventajas y desventajas. Si bien hay un incremento en la recuperación del grano producido y una reducción de la contaminación de impurezas, dando como resultado una mejora en la calidad final del grano cosechado y beneficiado, el impacto ambiental puede ser negativo como



resultado de la pérdida de vegetación, degradación y erosión de suelos en las zonas de producción. Por eso, es importante incorporar principios de protección y conservación del medio ambiente en el desarrollo tecnológico. El aumento en la demanda por quinua orgánica está contribuyendo positivamente en esta línea.

No obstante haberse obtenido variedades de quinua con bajos contenidos de saponinas vía los métodos tradicionales de mejoramiento y tener mayor información sobre la estructura genética de esta especie, hoy en día, se siguen cultivando principalmente variedades y ecotipos amargos de quinua, cuyos granos deben ser previamente desaponificados para su consumo por sus altos contenidos de saponinas. Se presume que las saponinas son el mecanismo *per se* de defensa de la planta para combatir plagas y enfermedades (*i.e.* ataque de insectos, aves y roedores). Además, algunas de las variedades y ecotipos amargas presentan mayor estabilidad genética y características particulares, como es el caso de los ecotipos de Quinua Real que son altamente requeridas en el mercado internacional por el tamaño de su grano de alrededor de 2,5 mm.

Aunque los sistemas actuales de remoción de saponinas continúan usando los principios básicos de los procesos tradicionales, hay que destacar que un mejor conocimiento científico de las características del episperma y propiedades de las saponinas, han permitido realizar avances importantes en el desarrollo de equipos y tecnología apropiada.

La ubicación de las saponinas en las capas externas del grano facilita su remoción. En los sistemas de remoción vía seca, se ha tomado ventaja de las propiedades abrasivas innatas del episperma, que le confiere la estructura de su tejido vegetal. Cuando la fricción se da entre granos la remoción es mucho más efectiva y homogénea debido a que las fuerzas de fricción son iguales y menores a las que se tienen cuando los granos son frotados sobre una superficie abrasiva; por tanto, se puede ejercer un mayor control del proceso de escarificación y lograr porcentajes mayores y más uniformes de remoción del episperma, y por ende de las saponinas. A pesar de la forma ovoide de la semilla y la fragilidad del embrión y exposición al ambiente, la calidad nutritiva de la semilla no se ve comprometida cuando el escarificado se basa, principalmente, en

las fuerzas de fricción entre granos.

La temperatura, un factor explotado en los sistemas tradicionales vía seca o húmeda, aún no ha sido incorporada en el diseño de los nuevos procesos de remoción de saponinas. La técnica del tostado del grano probablemente no sea conveniente considerarla por el desarrollo de color, resultado de las reacciones que se dan entre las proteínas y los azúcares reductores presentes en el grano, y una posible degradación de las saponinas. Pero, el aumento de la temperatura del agua de lavado podría contribuir de manera positiva en la extracción de las saponinas debido al incremento en la solubilidad y ablandamiento del tejido del episperma que facilitan y aceleran la lixiviación; sin embargo, esta temperatura en ningún caso deberá ser mayor a las temperaturas de desnaturalización de las proteínas y de gelatinización del almidón, a fin de no modificar sus propiedades fisicoquímicas.

Un mayor conocimiento de los mecanismos de absorción del agua y difusión de las saponinas en el grano han permitido identificar los tiempos óptimos de lavado y diseños más apropiados, de tal manera que el agua penetre únicamente hasta las capas donde se encuentran las saponinas, evitando así la hidratación de las otras capas del episperma, con ahorros sustanciales en el consumo de agua y en los tiempos de secado. El secado también es una etapa crítica que debe ser controlada adecuadamente para inhibir el crecimiento microbiano, la humedad final de grano debe ser menor al 13,5 %.

Si bien es cierto que los sistemas combinados han sido optimizados, los volúmenes de agua que se usan en la etapa del lavado, 5 - 15 m<sup>3</sup>/t de quinua procesada, aún son significativos, especialmente en regiones donde este recurso es escaso, *e.g.* en el altiplano boliviano la precipitación pluvial alcanza solamente a 150 - 200 mm/año (Fundación PIEB 2010). Además, estos procesos generan aguas residuales contaminadas con saponinas que, en varios casos, se descargan sin tratamiento a los cuerpos naturales, pudiendo ocasionar desequilibrios en los ecosistemas. También cabe mencionar en este punto, que las regulaciones ambientales relacionadas en materia de contaminación hídrica y de suelos son cada vez más exigentes respecto a los límites permisibles de descarga, por tanto este hecho podría impulsar a que los sistemas de remoción de saponinas vía

húmeda o combinada sean revisadas e incluso eliminadas.

La mayor recuperación de residuos, episperma con saponinas, es otro aspecto a considerar en el diseño de equipos y tecnología de desaponificación. Debido a las múltiples aplicaciones de las saponinas en el sector industrial (Kuljanabhagavad & Wink 2009), los residuos del escarificado han dejado de ser considerados “desechos”, residuos sin valor comercial, a subproductos con buenos precios en el mercado. Por tanto, se deberá trabajar en sistemas que permitan no sólo recuperar la mayor cantidad de saponinas en seco, sino que también permitan discriminar las fracciones con mayor concentración. Asimismo, se podría pensar en esta ventaja comparativa para impulsar el cultivo de otras variedades y ecotipos de quinua de grano pequeño y quizá de menor calidad nutricional pero con altos contenidos de saponinas, en otras regiones además de la tradicionales, *e.g.* variedades y ecotipos de quinua que se cultivan en los valles interandinos.

Además de una buena capacidad de procesamiento y obtención de un producto final de acuerdo a estándares internacionales de calidad, los equipos y tecnología que se vaya a desarrollar para la remoción de saponinas deberán incorporar los principios relacionados con la protección y conservación del medio ambiente: i) reducción en el consumo de agua y energía y ii) reducción en la generación de residuos sólidos y líquidos contaminados. En este sentido, muchos de los prototipos que se han construido parecen tener un buen potencial para que sean escalados a nivel industrial y responder no sólo a los requerimientos técnicos relacionados con la eficiencia y la calidad del grano, sino también a los ambientales y económicos.

Existen varios productos derivados de la quinua que se comercializan actualmente en el mercado, tales como los expandidos, harinas, fideos, hojuelas, extruidos, granolas, barras energéticas y otros que se basan en el aprovechamiento del grano libre de saponinas. Por otra parte, las investigaciones sobre el desarrollo de nuevos productos combinados se han ido incrementando de manera de hacer atractivo el consumo de quinua. Sin embargo, productos derivados que requieren tecnologías más complejas de separación de principios activos y componentes nutricionales aún no han sido explotados, *e.g.* aceite, concentrados y aislados proteicos, almidón,

leche de quinua, productos derivados de la saponina, colorantes a partir de las hojas y semillas entre otros. Estos productos de alto valor agregado, que aún son objeto de investigaciones, son considerados el potencial económico de la quinua por darle uso a características no solo nutritivas sino fisicoquímicas que abarcan más allá de la industria alimentaria y ofrecen productos a la industria química, farmacéutica y cosmética, considerando la enorme diversidad genética existente en las zonas andinas. Para aprovechar este potencial, será necesario fortalecer las capacidades locales de producción, mediante planes adecuados que involucren la investigación en desarrollo de procesos y productos y su posterior transferencia tecnológica.

## 6. Conclusiones.

Las previsiones en este sector indican que la demanda por este grano ancestral seguirá creciendo, principalmente para la quinua orgánica, que impulsará el mejoramiento de la maquinaria agrícola actualmente disponible en el mercado, la optimización de los procesos y la innovación tecnológica, no sólo en las fases de cosecha y poscosecha, sino en todas las etapas de la cadena de producción, de tal manera que permita incrementar los rendimientos, mejorar la calidad del grano, reducir los consumos de energía y agua, la generación de desechos y los impactos ambientales negativos intrínsecos.

A nivel industrial la desaponificación se realiza por la vía combinada para alcanzar los estándares de calidad de comercialización del grano de quinua, relacionados principalmente con: i) la integridad del grano, ii) valor nutricional y iii) contenido final de saponinas. Actualmente los procesos combinados permiten remover las saponinas hasta niveles entre 0,01 y 0,06 %, valores exigidos por el mercado internacional, muy por debajo del valor que puede percibir el paladar. Los sistemas más eficientes remueven en seco, en el escarificador, hasta 95 % de las saponinas, con pérdidas de masa en el grano de aproximadamente 5 a 7 % y el resto de las saponinas se eliminan en el lavado donde se tienen tiempos de contacto grano – agua de alrededor de un par de minutos o incluso segundos.

Con los equipos y tecnología actual, aún no es posible beneficiar grandes volúmenes de quinua por la vía seca, sin comprometer la calidad nutricional y

modificar la morfología del mismo. A nivel artesanal se tienen prototipos eficientes para la remoción de saponinas en seco, que permiten una recuperación total de las saponinas, pero su escalamiento a nivel industrial aún está pendiente.

Las últimas propuestas tecnológicas valorizan los residuos del episperma ricos en saponinas que tienen múltiples aplicaciones en el sector industrial y por ende buscan la mayor recuperación de estos compuestos químicos en el proceso. La presencia de saponinas debe ser considerada como una oportunidad más que brinda la quinua.

Por sus propiedades fisicoquímicas, reológicas, nutricionales y versatilidad agronómica, la quinua está siendo incorporada en la elaboración de diferentes tipos de alimentos; sin embargo, muy poco de su potencial ha sido explotado, especialmente aquellos con mayor valor agregado.

Hoy en día, la quinua “*el grano de oro*” es considerada como un cultivo estratégico que contribuirá a la seguridad alimentaria mundial.

## Referencias.

- Ahamed NT, RS Singhal, PR Kulkarni & M Pal (1998). A lesser-known grain, *Chenopodium quinoa*: Review of the chemical composition of its edible parts. *Food and Nutrition Bulletin*, 19:1, 61–70.
- Ahamed NT, RS Singhal, PR Kulkarni & M Pal (1996). Physicochemical and functional properties of *Chenopodium quinoa* starch. *Carbohydrate Polymers* 31 (1-2), 99-103.
- Alcocer E (2010). Tecnologías de procesamiento agroindustrial de los granos andinos. En Rojas W, JL Soto, M Pinto, M Jäger M & S Padulosi (eds). *Granos Andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*, 178 p. Bioversity International, Roma, Italia, 120-128.
- Apaza V, D Rodríguez, A Mujica, A Canahua y S Jacobsen (2006). Producción de Quinua de Calidad, Estación Experimental Illpa– Puno - Perú, 16 p.
- Aroni J C, M Cayoja y M Laime (2009), Situación Actual al 2008 de la Quinua Real en el Altiplano Sur de Bolivia, Fundación FAUTAPO, 180 p.
- Astudillo D (2007). The potential of small holder technology in quinoa producing communities of the Southern Bolivian Altiplano. Feature May 2007. *Global facilitation Unit for underutilized species*, Mickey Leland International Hunger Fellowships, En línea. Disponible [http://www.underutilized-species.org/features/quinoa/quinoa\\_article.pdf](http://www.underutilized-species.org/features/quinoa/quinoa_article.pdf) (Fecha de acceso 15 Mayo 2013).
- Bacigalupo A & M Tapia (2000). Potencial agroindustrial de los cultivos andinos subexplotados. En Tapia M (ed). *Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. FAO. Ediciones Gegra S.A. Santiago, Chile, 136–163.
- Baudoin A, & E. Avitabile (2013). La quinua en Bolivia: ¿Un producto estratégico para la Seguridad y Soberanía Alimentaria? En Memoria del IV Congreso Mundial de la Quinua, Ibarra, Ecuador, 8-12 julio 2013.
- Bretel S (2013). La quinua, una ruta al progreso. En La Prensa. En Línea. Disponible [http://www.laprensa.com.bo/diario/actualidad/la-paz/20130414/la-quinua-una-ruta-al-progreso\\_45917\\_73888.html](http://www.laprensa.com.bo/diario/actualidad/la-paz/20130414/la-quinua-una-ruta-al-progreso_45917_73888.html) (Fecha de acceso 6 Diciembre 2013)
- Birbuet JC & CG Machicado (2009). Technological progress and productivity in the Quinoa sector. *Development Research Working Paper Series*, 16 p., En línea. Disponible <http://hdl.handle.net/10419/45661> (Fecha de acceso 15 Mayo 2013).
- Bonifacio A, A Vargas & W Rojas (2013). Mejoramiento para la calidad Industrial de la Quinua. En Memoria IV Congreso Mundial de la Quinua, Ibarra, Ecuador, 8-12 de julio 2013.
- Bonifacio A, G Aroni & M Villca (2012). *Catálogo Etnobotánica de la Quinua Real*, PROINPA. Cochabamba, Bolivia, 123 p.
- Calla, J & G Cortez (2011). Guía Técnica Curso– Taller “Post Cosecha y Transformación de Quinua Orgánica”, Puno Perú, 30 p.
- Centro de Investigación, Formación y Extensión en Mecanización Agrícola – CIFEMA S.A.M. (2013). Clasificador de Granos. *Ficha Técnica # 35*, 1.
- Centro de Investigación, Formación y Extensión en Mecanización Agrícola – CIFEMA S.A.M. (2007). Vendeadora de Quinua V-M. *Ficha Técnica # 3*, 1.
- Centro de Investigación, Formación y Extensión en Mecanización Agrícola – CIFEMA S.A.M. (2006). En

- Miranda R. (2010) *Maquinaria Para La Postcosecha y Beneficiado de La Quinoa*. En línea. Disponible <http://es.scribd.com/doc/46057272/Maquinaria-Para-La-Postcosecha-y-Beneficiado-de-La-Quinoa-R-Miranda> (Fecha de acceso 2 Diciembre 2013)
- Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles - CPTS (2006). Empresa: Andean Valley. *Estudio de Caso PML – 029*, 1-8.
- Escalera R, C Quiroga & L Arteaga (2010). Desarrollo y desempeño de un proceso de beneficiado en seco de variedades amargas de quinoa basado en la aplicación de un Lecho Fluidizado de Tipo Surtidor (LFTS). *Investigación & Desarrollo*, Universidad Privada Boliviana, 10, 5–22.
- Espíndola, G & A Bonifacio (1996). Catálogo de variedades mejoradas de quinoa y recomendaciones para producción y uso de semilla certificada. Publicación conjunta *IBTA/DNS: Boletín No. 2*, La Paz, Bolivia. 76 p.
- Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos - PROINPA (2011). Contexto General y Propiedades Nutricionales, En Rojas W (ed). *La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*, 58 p., PROINPA. Cochabamba, Bolivia, 3–15.
- Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos - PROINPA (2008). Prototipos: Trilladoras de Granos (Quinoa, Cañahua, Amaranto). *Ficha Técnica*, 1-3.
- Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos - PROINPA (2005). *Variedad de Quinoa "Kurmi"*. Ficha Técnica Nº 12-2005.
- Gandarillas H (1979). Genética y origen. En Tapia ME (ed). *Quinoa y Kaniwa*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Bogotá, Colombia, 45–64.
- González JA, Y Konishi, M Bruno, M Valoy & FE Prado (2012). Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars from two different agroecological regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92:6, 1222–1229.
- González JA, A Roldán, M Gallardo, T Escudero & FE Prado (1989). Quantitative determinations of chemical compounds with nutritional value from Inca Crops: *Chenopodium quinoa* ("quinoa"). *Plant Foods for Human Nutrition* 39:4, 331–337.
- Güçlü-Üstündağ Ö & G Mazza (2007). Saponins: properties, applications and processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 231–258.
- Instituto Boliviano de Comercio Exterior - IBCE (2012). Quinoa en Bolivia. *Boletín Electrónico Bisemanal N° 179 – Bolivia*, En línea. Disponible [http://ibce.org.bo/images/ibcecifras\\_documentos/CIFRAS-179-quinoa-en-bolivia.pdf](http://ibce.org.bo/images/ibcecifras_documentos/CIFRAS-179-quinoa-en-bolivia.pdf) (Fecha de acceso 2 Diciembre 2013)
- Instituto Boliviano de Normalización y Calidad – IBNORCA (2007). Norma Boliviana Granos andinos – Pseudo cereales – Quinoa en grano – Clasificación y requisitos, NB NA 0038. *Compendio Normas Técnicas y Guías de Implementación de Normas del Sector Quinoa*, 1-7.
- Instituto Nacional de Estadística – INE (2013). Comercio Exterior de Bolivia, En línea. Disponible <http://apps.ine.gob.bo/comex/Main> (Fecha de acceso 1 Julio 2013)
- Jacobsen SE (2003). The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19:1-2, 167-177.
- Jacobsen SE, J Hill & O Stolen (1996). Stability of quantitative traits in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Theoretical and Applied Genetics*, 93, 110–226.
- Programa de Investigación Estratégica en Bolivia - PIEB (2010). Desafíos que enfrenta el cultivo de la quinoa. En Jaldín R (ed.), *Producción de quinoa en Oruro y Potosí*, 100 p., Programa de Investigación Ambiental, Fundación PIEB, La Paz, Bolivia, 7-13.
- Jiménez P, M Armada & S Gómez (2010). Caracterización Química y Estructural de Semillas de Quinoa Variedad CICA. *Memoria Resúmenes III Congreso Mundial de Quinoa* [CD]. Oruro, Bolivia.
- Kozioł MJ (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 5, 35–68.
- Kuljanabhagavad T, P Thongphasuk, W Chamulitrat & M Wink (2008). Triterpene saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. *Phytochemistry*, 69, 1919-1926.
- Kuljanabhagavad T & M Wink (2009). Biological activities and chemistry of saponins from



*Chenopodium quinoa* Willd. *Phytochemistry Reviews*, 8, 473–490.

LaRepublica.pe (2013). ADEX: Quinoa peruana llegó a 36 mercados durante el 2012. En línea. Disponible <http://www.larepublica.pe/19-02-2013/adex-quinua-peruana-llego-36-mercados-durante-el-2012> (Fecha de acceso 1 Julio 2013)

León J. (2003). Cultivo de la Quinoa en Puno-Perú Descripción, Manejo y Producción, Puno – Peru, 63 p.

Lorenz K (1990). Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Starch - Physico-chemical Properties and Functional Characteristics. *Starch/Stärke* 42 (3), 81-86.

Madl T, H Sterk & M Mittelbach (2006). Tandem Mass Spectrometric Analysis of a Complex Triterpene Saponin Mixture of *Chenopodium quinoa*. *American Society for Mass Spectrometry*, 17:6, 795–806.

Mastebroek HD, H Limburg, T Gilles & HJP Marvin (2000). Occurrence of saponins in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 152–156.

Ministerio de Agricultura del Perú - MINAG (2013) Estadística mensual Sistema Integrado de Estadística Agraria. En línea. Disponible [http://www.minag.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/boletineselectronicos/estadisticaagrariamensual/2013/bemsa-setiembre13\\_111113.pdf](http://www.minag.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/boletineselectronicos/estadisticaagrariamensual/2013/bemsa-setiembre13_111113.pdf) (Fecha de acceso 1 Julio de 2013)

Miranda R (2010). Caracterización Agromorfológica de 685 Acciones de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) pertenecientes al Banco de Germoplasma de Granos Altoandinos del CIBREF – UTO en el CEAC. *Tesis de Grado*, Universidad Técnica de Oruro, Bolivia.

Mufari J, N Cervilla, C Guzman & E Calandri (2013). Comparación entre Precipitación Isoeléctrica y Ensayos Enzimáticos para la Obtención de Concentrados Proteicos de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). En Memoria IV Congreso Mundial de la Quinoa, Ibarra, Ecuador, 8-12 de julio 2013.

Mujica A (2013). Post-cosecha y agroindustria de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). En Memoria IV Congreso Mundial de la Quinoa, Ibarra, Ecuador,

8-12 de julio 2013.

Mujica A, R Ortiz, A Bonifacio, R Saravia, G Corredor, A Romero & S-E Jacobsen (2006). Agroindustria de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en los países andinos. Proyecto Quinoa: Cultivo multipropósito para los países andinos Perú-Bolivia-Colombia, PNUD-CONCYTEC-UNA-PROINPA-U. Colombia. Puno, Perú. 113 p.

Ng KG, KR Price & GR Fenwick (1994). A TLC method for the analysis of quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins. *Food Chemistry*, 49:3, 311 – 315.

Nieto C & R Valdividia (2001). Postcosecha, Transformación y Agroindustria. En Mujica A, S-E Jacobsen, J Izquierdo & JP Marathe (eds). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro, En línea. Disponible <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/home03.htm> (Fecha de acceso 3 Junio 2013)

Nieto C & M Soria (1991). Procesamiento de quinoa en Ecuador. 94 p. Proyecto 3P-85-0213. *Informe final de labores*. INIAP-UTA-CIID. Quito, Ecuador.

Obando M, R Escalera, C Quiroga & L Arteaga (2011). Optimización del consumo específico de energía en el procesos de beneficiado en seco de variedades amargas de quinoa, basado en la aplicación de un Lecho Fluidizado de Tipo Surtidor (LFTS). *Investigación & Desarrollo*, Universidad Privada Boliviana, 11, 5–19.

Opoku A, L Tabil, J Sundaram, WJ Crerar & SJ Park (2003). Conditioning and dehulling of pigeon peas and mung beans. Paper No. 03-347, *The Canadian Society for Engineering in Agricultural, Food and Biological systems*, CSAE/SCGR 2003 Meeting Montréal, Québec, 1-18. En línea. Disponible <http://www.engr.usask.ca/societies/csae/PapersCSAE2003/CSAE03-347.pdf>. (Fecha de acceso 7 Mayo 2013).

Prado FE, M Gallardo & JA González (1996). Presence of saponin-bodies in pericarp cells of *Chenopodium quinoa* Willd. (quinoa). *Biocell*, 20:3, 259–264.

Pulvento C, M Riccardi, A Lavini, R D'Andria, G Lafelice & E Marconi (2010). Field Trial Evaluation of Two *Chenopodium quinoa* Genotypes Grown Under Rain-Fed Conditions in a Typical Mediterranean

Environment in South Italy. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196:6, 407-411.

Pumacahua A, JF Lopez Filho, J Telis Romero & MI Demiate (2013). Estudio del comportamiento de pasta de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow) extraído por molienda húmeda. En Memoria IV Congreso Mundial de la Quinoa, Ibarra, Ecuador, 8-12 de julio 2013.

Qian J & M Kuhn (1999). Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* Starch. *Starch/Stärke* 51 (4), 116-120.

Quiroga C, R Escalera, L Arteaga, F Montañó & R Nogales (2011). Beneficiado en seco de la quinua – Proyecto de prefactibilidad para el beneficiado en seco de quinua con un lecho tipo surtidor. En Fundación PIEB (ed). *Investigación Ambiental*. 26 pp. La Paz, Bolivia.

Quiroga C & R Escalera (2010). Evaluación de la calidad nutricional y morfología del grano de variedades amargas de quinua beneficiadas en seco, mediante el novedoso empleo de un reactor de Lecho Fluidizado de Tipo Surtidor (LFTS). *Investigación & Desarrollo*, Universidad Privada Boliviana, 10, 23–36.

Quiroga C, R Escalera & L Arteaga (2010). Informe: Relevamiento Información Aspectos Técnicos, Ambientales, Sociales y Económicos en las Empresas Beneficiadoras. Anexo de Informe final Proyecto de prefactibilidad para un proceso de beneficiado en seco de variedades amargas de quinua, basado en la aplicación de un lecho fluidizado de tipo surtidor. Fundación PIEB, Convocatoria: “Formulación de Propuestas para la Producción Sostenible de Quinoa en Oruro y Potosí”

Reichhert R D, JT Tatarynovich & RT Tyler (1986). Abrasive dehulling of quinoa (*Chenopodium quinoa*): Effect on saponin content as determined by an adapted hemolytic assay. *Cereal Chemistry*, 63:6, 471–475.

Reynaga A., M Quispe, I Calderón, A Huarachi & J L Soto (2013a). Caracterización físico-química de los 13 ecotipos de quinua real (*Chenopodium*

quinoa Willd.) del altiplano Sur de Bolivia con fines agroindustriales y de exportación. En Memorias del Congreso Científico de la quinua, La Paz, Bolivia, 14 y 15 de junio de 2013, 517-524.

Reynaga A., M Quispe, A Huarachi, I Calderón, J L Soto Quispe & MTorrez (2013b). Evaluación de las cualidades agroindustriales de los granos de quinua real. En Memorias del Congreso Científico de la quinua, La Paz, Bolivia, 14 y 15 de junio de 2013, 525-534.

Ridout CL, KR Price, MS Dupont, ML Parker & GL Fenwick (1991). Quinoa saponins: analysis and preliminary investigations into the effects of reduction by processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54, 165–176.

Risi JC & NW Galwey (1989). *Chenopodium* grains of the Andes: a crop for temperate latitudes. En Wickens GE, N Haq, P Day (eds). *New Crops for Food and Industry*. Chapman & Hall, London, 222–234..

Ruales J & BM Nair (1994a). Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 45, 223-246.

Ruales J & BM Nair (1994b). Effect of processing on in vitro digestibility of protein and starch in quinoa seeds. *Food Science & Technology* 29 (4), 449-456.

Ruales J (1992). Development of an infant food from quinoa *Chenopodium quinoa* Willd. Technological aspects and nutritional consequences. *Dissertation*, 13–43. University of Lund, Sweden.

Stuardo M & R San Martín (2008). Antifungal properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) alkali treated saponins against *Botrytis cinerea*. *Industrial crops and products*, 27:3, 296–302.

Subieta C, C Quiroga, R Escalera & L Arteaga (2011). Recuperación de residuos sólidos con alta concentración de saponinas del proceso de beneficiado en seco de granos de quinua amarga, mediante la aplicación de un Lecho Fluidizado de

Tipo Surtidor (LFTS). *Investigación & Desarrollo*, 11, 20–36.

Tang H, K Watanabe & T Mitsunaga (2002). Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds. *Carbohydrate Polymers* 49 (1), 13–22.

Taka T, N Watanabe, K Yuhara, S Toh, S Suda, Y Tsuruoka, K Nakatsugawa & Y Konishi (2005). Hypocholesterolemic Effect of Protein Isolated from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Food Science and Technology Research*, 11:2, 161 – 167.

Turismo Rural Comunitario (2013), Prototipo para la postcosecha de la quinua real. Oruro, Bolivia. En Línea. Disponible [http://www.ayniturismo.com/es/noticia/prototipo\\_para\\_la\\_postcosecha\\_de\\_la\\_quinua\\_real](http://www.ayniturismo.com/es/noticia/prototipo_para_la_postcosecha_de_la_quinua_real) (Fecha de acceso 1 Julio 2013)

Villacorta S & V Talavera (1976). Anatomía del Grano de Quinoa: *Chenopodium Quinoa* Willd. *Anales Científicos UNA*, 14, 39–45.

Villacres E, Pastor G, Zambrano I & Morales Sh (2013). Determinación del Perfil de Ácidos Grasos de los Granos Andinos Sometidos a Diferentes Condiciones de Procesamiento. En Memoria IV Congreso Mundial de la Quinoa, Ibarra, Ecuador, 8-12 de julio 2013.

Ward SM (2000). Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*, 68:2, 157–163.

Woldemichael GM & M Wink (2001). Identification and Biological Activities of Triterpenoid Saponins from *Chenopodium quinoa*. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 49:5, 2327–2332

## CAPÍTULO: 3.2.

## TÍTULO: FORRAJE Y ALIMENTACIÓN ANIMAL

\*Autor para correspondencia: José Antonio BLANCO <[ablanco@ucm.cl](mailto:ablanco@ucm.cl)>

JOSE ANTONIO BLANCO CALLISAYA. Departamento de Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Curicó, Chile

## Resumen

La quinua, desde tiempos prehispánicos, fue utilizada en la alimentación animal. Por sus propiedades nutritivas y los subproductos derivados de la cosecha y beneficiado del grano, este cultivo surgió como una alternativa para la alimentación de rumiantes y no rumiantes. Diferentes trabajos demuestran que el grano de quinua ya sea suministrada como grano entero o molida en diferentes proporciones de la ración, son capaces de suplir y aportar los requerimientos de animales monogástricos, especialmente aves y porcinos. El contenido de saponina, que le proporciona el característico sabor amargo, disminuye su consumo, por tanto, antes de suministrar debe ser eliminada o bien utilizar cultivares dulces, con los cuales se tuvieron experiencias por demás interesantes y se evita el desaponificar. La adición de subproductos de la cosecha, trilla y beneficiado de la semilla, como el afrecho o cascarilla de la semilla constituye otra fuente alimenticia, si proviene de quinuas amargas poseerá un alto contenido de saponina y por tanto una disminución en el consumo, que puede ser mejorada mezclándolo con otros ingredientes. En rumiantes, los trabajos se enmarcaron en la producción de forraje, ensilaje y la adición de residuos de la cosecha (tallos y hojas) en las dietas. Si bien los rendimientos de materia seca son aceptables, la ventaja está en su buena digestibilidad y contenido de proteína que lo hace un forraje de buena calidad. Al contrario de los monogástricos, no existe un efecto adverso de la saponina, más bien tiene la ventaja de

controlar ciertos parásitos internos. La quinua al ser un cultivo multipropósito, debiera ser una opción de alimentación animal en lugares donde la producción de grano es importante, por la cantidad de residuos producto de su beneficiado, y en zonas con escasez de agua y altitudes considerables donde otras especies no prosperan. Aunque bajo el escenario actual, con un precio elevado del grano, no existe certeza de que su inclusión sea aplicable comercialmente.

## 1. Introducción.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), es una especie que se cultiva en los andes americanos desde tiempos prehispánicos (Canahua Murillo y Mujica Sánchez 2013, Galwey 1992), especialmente en lo que hoy constituye Perú y Bolivia, su distribución abarca desde el nivel del mar hasta los 4000 m de altitud. Durante las civilizaciones Tiwanaku e Inca la quinua tenía gran importancia en la alimentación de sus pobladores así como igualmente se lo utilizaba como producto de intercambio con aquellos producidos fuera de la zona altiplánica (Bonifacio 2006). Constituye un alimento altamente nutritivo para los seres humanos al igual que para los animales (Ahamed *et al.* 1998, Bhargava *et al.* 2006, Mujica *et al.* 2001). Un componente que disminuye su consumo es la saponina, por tanto, éstas deben ser removidas del grano para el consumo de cerdos y aves; las hojas frescas y la broza de la cosecha son bastante apetecibles por los ovinos, bovinos, camélidos, caprinos y peces (Francis *et al.* 2002), las hojas de



quinua pueden ser ensiladas (Montoya Restrepo *et al.* 2005). Los desechos del beneficiado poseen importantes contenidos nutricionales que pueden ser aprovechados en la alimentación animal, los granos quebrados, de baja calidad son utilizados en la alimentación de aves de corral mientras que los residuos como tallos, pequeñas partes de hojas, restos de la panoja, inflorescencia, flores y perigonio en ovinos, bovinos y porcinos (León Hancoco 2003), la importancia de estos subproductos radica en los volúmenes producidos que viabilizaría su utilización en la alimentación animal. En el transcurso del siglo pasado y en el presente se han realizado estudios del aporte de la quinua en la alimentación animal, sin duda, es un cultivo multipropósito, del que muchas veces únicamente se menciona al grano como fuente principal de alimentación y ser desconocidos o poco apreciados los otros constituyentes de la planta (Bonifacio 2006, Galwey 1992). Por todos estos atributos, la quinua fue elegida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) como un cultivo destinado a la seguridad alimentaria.

## 2. Utilización de la quinua en la alimentación animal.

El producto principal de la quinua es el grano, y como tal constituye la principal fuente de utilización en ensayos de alimentación animal, pudiendo utilizarse como proteína complementaria para mejorar el balance de aminoácidos en la dieta de animales (Jacobsen 2003). No obstante, desde tiempos antiguos los pobladores de la meseta altiplánica utilizan la planta entera así como los subproductos de la cosecha, trilla y beneficiado en la alimentación de sus animales domésticos, especialmente de los camélidos y posteriormente con la llegada de los conquistadores fueron utilizados en bovinos, ovinos, aves y cerdos (Hernández Bermejo y León 1994). Considerando la escasez de material forrajero en las zonas altas, secas y frías del altiplano y otras latitudes, los subproductos de la quinua constituyen un complemento a la producción pecuaria, proporcionando forraje localmente producido de alta calidad (Bonifacio 2006, Jasso Cantú *et al.* 2002).

Está ampliamente estudiado la presencia de saponina en el grano, que le proporciona el característico sabor amargo (Ahamed *et al.* 1998, Bonifacio 2006, Cuadrado *et al.* 1995), si el contenido

de saponina en el grano es de 4,7 a 11,3 g/kg de materia seca son consideradas quinuas amargas, mientras que las que contienen de 0,2 a 0,4 g/kg de materia seca se clasifican como quinuas dulces, y aquellas que están entre estos dos rangos como intermedias (Mastebroek *et al.* 2000). La saponina se concentra en la parte externa del grano, más propiamente en el pericarpio, por tanto, previo al consumo de los animales debe ser eliminado.

Las saponinas pueden modificar los microorganismos del tracto gastrointestinal, particularmente en los rumiantes (Gee *et al.* 1993), reduciendo las poblaciones de protozoos del rumen mediante la unión al colesterol en la membrana celular del protozoo, causando el rompimiento y muerte celular (Makkar y Becker 1998). Sin embargo, Abreu *et al.* (2004) observaron un aumento del número de protozoos en ovejas alimentados con frutos de *Sapindus saponaria* con alto contenido de saponinas. Aunque las saponinas, en algunos casos, pueden tener un efecto negativo en el comportamiento alimenticio de los mamíferos, está claramente reportado de los efectos adversos en el consumo, digestibilidad, y productividad, lo que disminuye su valor forrajero (Rogosic *et al.* 2008).

### 2.1. Granos.

El grano de la quinua para un mejor aprovechamiento debe ser desaponificado a través de métodos en húmedo, donde el grano de quinua es sometido a un proceso de remojo en calderas pasando por fricción para eliminar la saponina juntamente con el perigonio, o por método en seco que consiste en la escarificación del grano por medio de calor para luego ser friccionado y eliminado en forma de polvillo (Borges *et al.* 2010).

#### 2.1.1. Alimentación de animales monogástricos con granos de quinua.

Las investigaciones en torno a la utilización del grano en producción animal se ha centrado principalmente en aves y porcinos, realizando raciones con granos que contenían saponina frente a granos con poco o ningún contenido de saponina, su adición en diferentes porcentajes de la dieta y comparadas con otras fuentes alimenticias. De este modo, Gandarillas (1948) citado por Cardozo y Tapia (1979), estudió el efecto fisiológico de la saponina en pollos Leghorn, comparando raciones a base de quinua lavada, sin lavar, cruda y cocida,

frente a una de maíz, constituyendo el grano el 40% de la ración. El incremento de peso de los pollos, ya sea alimentados con quinua o maíz, no fueron estadísticamente diferentes durante los 30 días que duró el experimento. Se obtuvieron mayores incrementos de peso cuando consumían quinua lavada y cocida seguida de quinua sin lavar y cocida, esta situación muestra un efecto positivo de cocer la quinua (Cuadro 1). Situación que es corroborada por Cardozo (1959) citado por Cardozo y Tapia (1979)

que alimentó pollos con granos de quinua cocidos, lavados, crudos y la adición de extracto de cerebro de cerdo en comparación con un grupo control, alimentado con leche (Cuadro 2), encontrando un mayor aumento de peso de pollos alimentados con quinua cocida, similar al control, mientras que el consumo fue mayor cuando la quinua fue lavada, pero la eficiencia de utilización de alimentos fue superior con la quinua sin tratamiento.

**Cuadro 1.** Pesos de pollos Leghorn, con cuatro raciones a base de quinua y una testigo a base de maíz.

Raciones	Peso promedio de las aves (g)		
	Inicial	15 días	30 días
Quinua lavada y cocida	325	547	835
Quinua lavada y cruda	304	500	757
Quinua sin lavar cruda	287	450	731
Quinua sin lavar cocida	332	504	823
Testigo (maíz amarillo)	319	564	832

FUENTE: Gandarillas (1948) citado por Cardozo y Tapia (1979)

**Cuadro 2.** Incremento de peso vivo y consumo de alimento, en pollos alimentados con raciones de quinua y leche

Ración	Incremento g/pollo	Consumo g/pollo
Quinua cocida	550	4100
Quinua lavada	382	4250
Quinua + extracto colesterol	450	3360
Quinua sin tratamiento	406	2800
Testigo (leche)	545	3430

FUENTE: Cardozo (1959) citado por Cardozo y Tapia (1979)

En el afán de buscar sustitutos proteicos en la alimentación de pollos Gandarillas *et al.* (1968), realizaron dos ensayos utilizando granos de quinua con ningún o muy bajo contenido de saponina. En un primer ensayo comparó la quinua dulce con quinua amarga y una ración a base de leche

y afrechillo de trigo (Cuadro 3), en un segundo ensayo, estudio el efecto de lavar la quinua dulce (Cuadro 4), los resultados muestran que no existen diferencia entre lavar o no lavar la quinua dulce, aunque la eficiencia de utilización de alimento fue mayor con el nivel bajo de quinua, también

observaron que la quinua utilizada a niveles de hasta un 30% no provocan una depresión en el crecimiento. Cardozo y Tapia (1979), indican que a mayores niveles de quinua el efecto de la saponina se manifestaría como deficiencia de vitamina A, este efecto depresivo puede ser controlada utilizando altas dosis de vitamina A y D, pudiendo inferir que

la quinua puede ser deficitaria en vitamina A y D, o la saponina de la quinua producir una depresión de una o ambas vitaminas, que concuerda con lo que indican Jenkins y Atwal (1994), de que la saponina en los pollos, al parecer interfiere en la absorción de la vitamina A y E.

**Cuadro 3.** Incremento de peso y mortalidad de pollos New Hampshire, alimentados con quinua dulce y amarga.

	Testigo leche	Quinua dulce 60%	Quinua dulce 30%	Quinua amarga 30%
Proteína en ración	24,8	20,1	19,1	19,7
Días de experimento	60	60	60	60
Incremento de peso, g	375c	427,5b	621,0 a	489,3a
Mortalidad, pollos	---	3	---	5

Los números con letra diferente, difieren estadísticamente al 1% de probabilidad

FUENTE: Gandarillas *et al.* (1968) citado por Cardozo y Tapia (1979)

**Cuadro 4.** Alimentación de pollos con quinua dulce lavada y sin lavar.

Respuestas	Quinua lavada 30%	Quinua lavada 60%	Quinua dulce 30%	Quinua dulce 60%
<b>Primera etapa: 27 días</b>				
Aumento peso diario, g	16,2	11,4	11,5	9,9
Consumo promedio diario, g	38,4	30,5	34,6	34,1
Eficiencia de utilización de alimentos	2,37	2,67	3,01	3,44
<b>Segunda etapa: 37 días</b>				
Aumento peso diario, g	21,1a	20,4a	27,1a	25,0a
Eficiencia de utilización de alimentos	2,93	3,20	3,53	3,54

FUENTE: Gandarillas *et al.* (1968) citado por Cardozo y Tapia (1979)

También se realizaron mezclas con otros granos andinos y otros ingredientes comunes en la preparación de raciones, Negron *et al.* (1976) citado por Cardozo y Tapia (1979), compararon una ración basada en quinua y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), con raciones comerciales (Cuadro 5), no encontraron diferencias significativas en el incremento de peso vivo diario, sin embargo, la eficiencia de conversión alimentaria fue mejor

con granos de quinua y cañihua al igual que la mortalidad fue menor (Cuadro 6), con los precios de los productos de esa época, el costo por kilo vivo fue de 10 a 50% más bajo que las raciones comerciales. Los autores indican que, de alguna manera, estos granos alivian el mal de altura y permiten una crianza económica de pollos parrilleros en condiciones ambientales superiores a los 3500 msnm.

**Cuadro 5.** Ingredientes, porcentajes y valor nutritivo de la ración balanceada a base de quinua y cañihua.

Ingredientes	Ración de inicio	Ración de crecimiento	Ración de acabado
Quinua, %	50,0	44,0	44,0
Cañihua, %	34,4	35,4	34,4
Pasta de algodón, %	6,0	7,0	7,0
Harina de pescado, %	9,0	13,0	10,0
Sal común, %	0,5	0,5	0,5
Suplemento vitamínico, %	0,1	0,1	0,1
<b>Valor nutritivo</b>			
Proteína, %	19,4	21,2	19,6
Grasa, %	4,2	4,4	4,1
Fibra, %	8,0	8,0	7,9
Cenizas, %	6,1	7,0	8,0
Humedad, %	8,1	7,9	7,7

FUENTE: Negron *et al.* (1976) citado por Cardozo y Tapia (1979)

**Cuadro 6.** Alimentación de pollos con tres raciones comerciales y una mezcla quinua y cañihua.

Respuesta	Ración 1	Ración 2	Ración 3	Quinua + Cañihua
Incremento de peso vivo diario, g	23,0a	24,5a	23,0a	24,2a
Eficiencia utilización alimento	2,66	2,15	3,31	1,99
Animales muertos	11	8	11	6
Mérito económico X100	-3,05	22,97	-18,27	32,27

FUENTE: Negron *et al.* (1976) citado por Cardozo y Tapia (1979)

Se realizaron dos experimentos para evaluar el efecto de la inclusión de granos de quinua descascarillada para eliminar las saponinas, en la alimentación de pollos parrilleros en base a trigo, raps, arvejas y harina de soja (Jacobsen *et al.* 1997). En el primero, los pollos recibieron la mezcla de alimentos desde los 6 a 36 días de edad con dietas que contenían 100, 200 y 400 g/kg de quinua, sin procesar y descascarillada, encontrándose una disminución del crecimiento de forma lineal al aumentar la inclusión de quinua, desde 1,8 hasta 0,8% por cada 10 g/kg de quinua adicionada; existe un efecto benéfico no apreciable del descascarado, pero sólo en la primera semana del experimento. En el segundo experimento, los pollos recibieron dietas peletizadas desde los 0 a los 39 días de edad, que contenían 150 g/kg de quinua sin procesar, 150 g/kg de quinua descascarada y 50 g/kg de germen de quinua, no se encontraron efectos del descascarado; el nivel de 150 g/kg quinua redujo el peso vivo a

los 20 y 39 días de 627 a 601 g, y de 1.760 a 1.709 g, respectivamente, y la conversión alimenticia aumentó a los 20 días de edad de 1.437 a 1.486 g de alimento/kg de peso vivo. El rendimiento de pollos parrilleros que recibieron germen de quinua fue tan bueno como la dieta control, los autores concluyen que la quinua tiene potencial como alimento para pollos parrilleros, pero la inclusión no debe exceder de 150 g/kg de la dieta.

Durante el presente siglo, se continuaron realizando estudios tendientes a determinar el efecto de diferentes métodos de procesamiento de la quinua en bruto, pulida (sin cáscara) y lavada en pollos parrilleros, se evaluaron cuatro niveles de proteína en la dieta (13,2; 18,0; 13,3 y 23,0% de PC), en comparación a una dieta a base de trigo, sorgo y maíz (Improta y Kellems 2001), los pollos parrilleros alimentados con quinua bruta redujeron su crecimiento así como la tasa de supervivencia



en comparación a los tratamientos de lavado o pulido, pero los alimentados con quinua lavada se asemejan a los que se alimentaron con dietas a base de maíz y torta de soja, y fueron mejores que los alimentados con quinua pulida. El lavado al parecer es más eficaz que la eliminación de la cáscara (pulido) en la reducción de los factores anti-calidad que disminuye el comportamiento productivo de los pollos. Elevar el nivel de proteína en la dieta de 13,2 a 18,0 y 23,0%, ha demostrado mejorar el crecimiento y la supervivencia de los grupos alimentados con quinua; por tanto, el lavado y pulido del grano de quinua y el aumento de la proteína en la dieta o reducir ligeramente la cantidad de quinua presente en la dieta, mediante la adición de torta de soja, mejora del crecimiento y la supervivencia de los pollos parrilleros.

Continuando con la búsqueda de fuentes alternativas de proteína y energía, se evaluó la adición de harina de quinua para engorde de pollos parrilleros, con raciones que contenían 15, 30 y 45% de harina de quinua; suministrándose a cada pollo 148,47 g/día (Muñoz Tunubala *et al.* 2007), la dieta control obtuvo un mayor ganancia de peso al igual que una mejor conversión alimenticia, mientras que la ración con 15% de harina de quinua fue el que mostró una mejor conversión alimenticia a pesar que tuvo la menor ganancia de peso (Cuadro 7). Los autores concluyen que si bien las diferencia entre los tratamientos que contenían harina de quinua fueron estrechas, la harina de quinua puede sustituir a otras fuentes energéticas como el maíz.

**Cuadro 7.** Efecto de la adición de harina de quinua en la ganancia de peso, consumo y conversión alimenticia de pollos parrilleros en los últimos 21 días de engorda.

Ingredientes	Harina quinua			
	0%	45%	30%	15%
Harina de quinua	0	45	30	15
Harina de pescado	7	8	8	8
Torta de soya	20	14,3	15	16,5
Harina de plátano	16	6	13,5	13,8
Maíz molido	24	9,7	16	20
Cascarilla de maíz	24	8,5	8	18
Melaza	4,5	4	5	4,2
Premezcla vitaminas + minerales	0,5	0,5	0,5	0,5
Sal mineral	1,5	1,5	1,5	1,5
Harina cáscara huevo	1,5	1,5	1,5	1,5
Harina huesos	1	1	1	1
TOTAL	100	100	100	100
Ganancia de peso (g)	143,13	108,94	108,57	106,07
Consumo alimento (g)	97,2	100,62	97,2	97,2
Conversión alimento	1,08	1,20	1,22	1,11

FUENTE: Muñoz Tunubala *et al.* (2007)

En la necesidad de una sustitución parcial de dietas de aves con nuevas alternativas alimenticias Mosquera *et al.* (2009) evaluaron la adición de quinua dulce sin desaponificar, en niveles de 0%, 5%, 15% y 25% en dos fases una de iniciación (1-4 semanas) y finalización (4-6 semanas). El consumo de alimento durante la etapa de iniciación, fue

menor en el control (1265,4 g), mientras que en los tratamientos con quinua no se encontraron diferencias entre ellos (1553,8; 1543,4 y 1547,93 g, respectivamente), por el contrario en la etapa de finalización no se encontraron diferencias entre los tratamientos (1993,99; 2098,19; 2080,97 y 2005,83 g, respectivamente). En cuanto a la

ganancia de peso, no se encontraron diferencias tanto en la etapa inicial (816,63; 839, 84; 840,50 y 881,64 g, respectivamente), como en la etapa de finalización (1075,4; 1127,19; 1171,56 y 1066,16 g, respectivamente). La conversión alimenticia en la fase inicial mostró diferencias entre el control (1,47) y las dietas con inclusión de quinua (1,75; 1,74; y 1,67 respectivamente), por el contrario no hay diferencia en la etapa de finalización (1,86; 1,86; 1,79 y 1,90, respectivamente). Respecto a la eficiencia alimenticia, en la etapa inicial se encontró diferencia, siendo el mejor el control (68,35), mientras que los tratamientos con quinua fueron estadísticamente similares (57,36; 57,59 y 59,99, respectivamente), por el contrario en la etapa de finalización no hubo diferencias (54,02; 53,74; 56,28 y 53,07, respectivamente). En relación al rendimiento en canal el mejor fue el control con 74,075%, siendo menores los que contenían quinua. Finalmente hubo una mayor mortalidad en la dieta control con un 10,94%, mientras que los alimentados con quinua presentaron valores de 1,56; 0 y 1,56% de mortalidad respectivamente. Los autores concluyen que es posible utilizar la quinua como una materia prima no convencional en la elaboración de concentrados para pollos parrilleros, por otro lado la quinua dulce (sin desaponificar), puede reemplazar en forma adecuada a otras

fuentes de proteína como la torta de soya hasta un nivel de inclusión de 25%, sin afectar el crecimiento normal del animal, siendo la ración con un nivel de 5% de quinua el tratamiento que presenta la mejor rentabilidad económica, sin afectar parámetros productivos como conversión y eficiencia alimenticia en la etapa de finalización y ganancia de peso en las dos etapas. Las aves alimentadas con raciones que contenían diferentes niveles de inclusión de quinua tuvieron un comportamiento similar en cuanto a consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, eficiencia alimenticia y rendimiento en canal en las dos etapas evaluadas; igualmente el empleo del grano de quinua variedades dulces en la formulación de raciones alimenticias para pollos parrilleros, por los bajos niveles de saponina presentes en el grano, no afecta su consumo y por lo tanto no es necesario someterlo a procesos de desaponificación.

También se realizaron ensayos de alimentación en pavipollos, Mogollón y Rentería (1975) citado por Cardozo y Tapia (1979), adicionaron granos de quinua en un 5, 10 y 15% de la ración en comparación a una ración en base a proteína de harina de pescado (Cuadro 8), a excepción de la ración para crecimiento, la eficiencia de utilización de alimentos fue mayor cuando el contenido de quinua en la dieta fue mayor.

**Cuadro 8.** Incrementos de peso vivo en pavipollos alimentados con diferentes niveles de quinua y harina de pescado

Ración	Crecimiento		Ceba		Acabado	
	g/animal	Eficiencia uso alimento	g/animal	Eficiencia uso alimento	g/animal	Eficiencia uso alimento
Quinua 15%	1284	2,27	6360	4,31	2392	5,36
Quinua 10%	1283	2,39	5808	4,25	2214	5,84
Quinua 5%	1240	2,19	5362	4,48	2125	5,90
Harina de pescado	1224	2,18	4368	5,29	1594	6,80

FUENTE: Mogollón y Rentería (1975) citado por Cardozo y Tapia (1979)

En la alimentación de codornices (*Coturnix japonica*), Nossa y Garzón (1976), estudiaron durante el crecimiento, la adición de cuatro raciones isoproteicas (20%) con dos niveles de energía (2800 y 3100 kcal/kg), que se diferenciaron por el nivel de inclusión de granos de quinua en la ración (0; 5; 10 y 15%) por 35 días, mientras que en la postura de

huevos se probó una ración isoproteica (20%) con una energía de 2800 kcal/kg y los mismos niveles de quinua, también durante 35 días. En el crecimiento no se observan diferencia con el control, pero este tiene un mejor comportamiento con un nivel bajo de energía, presentando un aumento diario de peso de 2,04 g y una ganancia de peso total de 858

g. Se distingue una tendencia, a mayor porcentaje de quinua mejoran los resultados, así con un nivel bajo de energía y un 15% de quinua, la ganancia diaria fue de 2,13 g y una ganancia de peso total de 898 g; mientras que, con un nivel alto de energía y 5% de quinua se obtuvo la mejor ganancias diaria y total con 2,18 y 915 g, respectivamente. Durante la producción de huevos existieron diferencias, siendo la mejor el control (67 huevos), seguida de la que contiene un 15% de quinua (64 huevos) y la de menor producción fue en 5% de quinua (40 huevos), no existiendo diferencia en el consumo.

El grano de quinua también fue utilizado en la alimentación de porcinos, Cardozo (1959), encontró un menor desarrollo de porcinos alimentados con quinua sin lavar, debido al contenido de saponina. Sin embargo, este efecto se ve modificado por la respuesta de los animales monogástricos a la adición de vitaminas, situación observada por

Cardozo y Tapia (1979), al suplementar las raciones de pollos con vitaminas A y D, que son bastante bajas en los granos de quinua. Gandarillas *et al.* (1968), probaron dos niveles de quinua de 30 y 50% (Cuadro 9), no encontraron diferencias estadísticas en la ganancia de peso, aunque los mayores incrementos de peso se tuvieron con la ración que incluía harina de habas y la que contenía leche en polvo con afrechillo, mientras que al comparar los dos niveles de quinua, los incrementos de peso y eficiencia de utilización de alimentos fueron mayores con dietas con menor porcentaje de quinua (30%). De acuerdo a Cardozo y Tapia (1979), en la zona de los salares del altiplano sur de Bolivia, donde se cultiva la quinua Real amarga, se ha observado que la alimentación de cerdos con base en quinua lavada y cocida, mezclada con cebada y harina de alfalfa, tiene resultados aparentemente positivos.

**Cuadro 9.** Alimentación de lechones con una ración comercial y quinua en diferentes niveles.

Ingredientes	Testigo 0%	Quinua 30%	Quinua 50%	Altiplano 30%
Maíz	25,0	5,5	-	-
Cebada	20,0	20,0	7,3	20,7
Harina de pescado	17,2	19,5	17,7	14,3
Leche en polvo	12,8	-	-	-
Afrechillo	20,0	20,0	20,0	-
Levaból	5,0	5,0	5,0	5,0
Quinua lavada	-	30,0	50,0	30,0
Harina de habas	-	-	-	30,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Aumento total, kg	29,2 a	27,1a	25,8a	32,1a
Aumento diario, g	423	393	371	464
Eficiencia de utilización de alimentos	3,6	3,2	3,3	2,9

FUENTE: Gandarillas *et al.* (1968) citado por Cardozo y Tapia (1979)

Díaz *et al.* (1995), alimentaron porcinos con un peso promedio de 10,1 kg y 8 semanas de edad, con un concentrado base, que fue el control, al que se sustituyó el 5 y 10 % de los cereales con harina de quinua. Después de 5 semanas, no se encontraron diferencia en el peso final (20,4; 20,0 y 18,9 kg) así como en la ganancia diaria (294; 285 y 248 g), pero sí hubo diferencias en la conversión alimenticia entre la dieta control y la inclusión de 10

% de harina quinua de 3,6 y 4,6, respectivamente, los autores indican la posibilidad de sustituir un 5 % de los cereales por la harina de quinua.

#### 2.1.2. Alimentación de animales rumiantes con granos de quinua.

Aunque no es muy usual utilizar grano de quinua en la alimentación de rumiantes, existen algunos antecedentes al respecto, como la adición de

quinua en dietas de ovinos donde se determinó el valor de los nutrientes digestibles totales de los granos de quinua (Cuadro 10), a partir de los valores de digestibilidad in vivo encontrados por Ugarte (1956) citado por Cardozo y Tapia (1979), los

resultados indican que, los granos de quinua tienen un contenido de energía de 2,97 Mcal/kg de materia seca, por lo cual no pueden ser considerados como un concentrado de alto valor energético.

**Cuadro 10.** Cálculo de los nutrientes digestibles totales en granos de quinua

Nutrientes	Contenido (%)	Digestibilidad (%)	Nutrientes digestibles
Proteína	14,29	81	11,57
Grasa	4,94	68 x 2,25	7,56
Fibra	4,01	67	2,69
E.N.N.	58,61	85	49,82
NDT =			71,64

FUENTE: Ugarte (1956) citado por Cardozo y Tapia (1979)

Por otro lado, Martínez Claire (1946) citado por Cardozo y Tapia (1979), al adicionar quinua en raciones de terneros, reportan un efecto positivo del grano de quinua (Cuadro 11), mezclando 200 g de quinua molida con 1,8 kg de cebada, lograron un aumento de 1,133 kg/día de peso vivo, mientras que el tiempo para alcanzar 100 kg de peso vivo fue de 88 días, con estas cifras se puede llegar a un

peso vivo de 414 kg en un año, por tanto, no sólo se aumenta la ganancia de peso sino la velocidad con que los terneros pueden lograr un peso comercial. De acuerdo a Cardozo y Tapia (1979), en el engorde de bovinos a orillas del lago Titicaca, en Perú y Bolivia, es común el uso de los subproductos de la cosecha de quinua, como los residuos de la trilla del grano (10,7% de proteína) y la broza.

**Cuadro 11.** Aumento de peso de terneros en respuesta a diferentes tipos de suplementación.

Suplemento	Aumento peso vivo (kg/día)	Días para alcanzar 100 kg	Peso vivo alcanzable en un año
2 kg Cebada	0,679	147	250
1,5 kg Cebada + 0,5 kg Trigo	0,776	130	280
1,8 kg Cebada + 0,2 kg Haba	0,800	125	292
1,8 kg Cebada + 0,2 kg Quinua molida.	1,133	88	414

FUENTE: Martínez Claire (1946) citado por Cardozo y Tapia (1979)

### 2.1.3. Alimentación de otras especies de animales con granos de quinua.

En el afán de evaluar el valor alimenticio de quinua dulces y amargas, Pate *et al.* (2006b), elaboraron raciones basados en cultivares dulces (Surumi, Patacamaya, Sayana y Chucapaca) y amargas (Real), que se compararon con raciones a base de maíz, cebada y avena, en la alimentación del cuy andino (*Cavia porcellus*). Adicionalmente, la quinua amarga fue adicionada sin lavar (con saponina) y lavada

(sin saponina). Las ganancias de peso de cuyes alimentados con quinua dulce fueron mayores (353, 5 a 414,4 g) que la amarga, sin lavar (307,4 g) o lavada (308,0 g). Los cuyes alimentados con maíz (337,7 g) fueron estadísticamente similares a los tres cultivares dulces, pero menores que Surumi (414,4 g), mientras que los alimentados con cebada (245,8 g) fue la más baja de todas. La conversión alimenticia fue más eficiente de los tratamientos con quinua dulce (4,15 a 4,37) que para el maíz



(5,71) y la cebada (5,71). El consumo de alimento fue menor para la quinua amarga (1278 g) y mayor para el maíz (1896 g), por esta situación las quinuas dulces son prometedoras como alimento de cuyes frente a la quinua amarga ya sea con saponina o sin ella, superando a la de la cebada y fueron similares al maíz y la avena, excepto el cultivar Surumi que superó con creces a todos (quinua, maíz y cebada). Estos mismos autores (Pate *et al.* 2006a), plantearon la hipótesis de que variedades dulces serían más palatables que la quinua amarga e igual de palatable que la quinua lavada (sin saponina), el maíz, avena y cebada, para responder la misma llevaron a cabo dos ensayos utilizando los mismos cultivares, en la primera se compararon quinua amarga con quinua dulce y en el segundo quinuas dulces y amargas se compararon con el maíz, avena y cebada. Del trabajo se desprende una preferencia por las variedades dulces (11,5 a 24,2% de consumo), mientras que el consumo de la quinua amarga lavada y sin lavar fue de 21,9 y 1,1%, respectivamente. En relación a los otros cereales, la preferencia por la avena (45,6%) fue mayor seguida del maíz (17,1%). Consumo de quinua dulce fue menor que el maíz con un rango de 1,6% (Sayana) a 10,6% (Surumi). Casi no hubo consumo de quinua amarga (0,3%), mientras que el lavado mejoró el consumo de (7,4%). El consumo de cebada fue similar a la quinua dulce. La eliminación de la saponina de la quinua amarga mediante el lavado, mejora su palatabilidad significativamente, sin embargo, cuando se ofrece a elegir prefieren avena, maíz, cebada, tanto la avena y el maíz son preferidas a la quinua (dulce o amarga), que va en contra de la hipótesis planteada.

Desde el punto de vista de la ganancia de peso, la eliminación de la saponina de quinua amarga no trae ventajas, siendo los cultivares dulces superiores a las amargas; en cambio, sí la alimentación es independiente los cultivares de quinua dulces son iguales y en algunos casos superiores al maíz o avena. Tradicionalmente la quinua sólo puede ser consumida si eliminamos la saponina ya sea por lavado u otro medio, lo cual limita su uso directo en

seres humanos o animales, en comparación con los otros granos de cereales. Por tanto, se puede inferir que los cultivares de quinua dulces son igualmente palatables que la quinua lavada y su difusión en lugar de los cultivares amargos, eliminaría la necesidad de desaponificación que consumen un tiempo valioso.

Se alimentaron conejos de la raza Nueva Zelanda (*Oryctolagus cuniculus*) con dietas con un 30% de quinua dulce y 70% de concentrado comercial, la presentación de la quinua fue en forma de lavada, germinada y precocida. Hubo un mayor consumo del tratamiento de quinua germinada (4692 g) con una ganancia de peso de 1231 g al cabo de 6 semanas, la dieta menos consumida fue la quinua precocida (4345 g) alcanzando una ganancia de peso de 1106 g (Vargas Ramírez y Carreño Salamanca 2007)

En un estudio con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) se comparó la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína y energía de harina de pescado, harina de vísceras de pollo y quinua, en tres niveles de inclusión (Cuadro 12). No se encontraron diferencias entre los valores de digestibilidad de materia seca y proteína de las harinas de pescado y vísceras de pollo, pero sí con respecto a la harina de quinua, cuyos valores fueron menores; en relación a la energía, el mayor coeficiente de digestibilidad se observó en la harina de pescado con 30 % de inclusión y el menor, para la harina de quinua con 10 % de inclusión. Estos resultados muestran que los coeficientes de digestibilidad de la materia seca y proteína no fueron afectados por el nivel de inclusión, los coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína de harina de quinua fueron semejantes a los observados en trigo, arroz y maíz y estuvieron por encima del 67 %, por tanto puede ser incluida en dietas para tilapia nilótica, los autores concluyen que la harina de quinua puede ser utilizada como substitutos de otros cereales, con la ventaja de su mayor contenido de proteína (Gutiérrez-Espinosa *et al.* 2011).

**Cuadro 12.** Composición proximal de la dieta referencia, las dietas experimentales, coeficientes de digestibilidad aparente de la harina de pescado, harina de vísceras de pollo y harina de quinua determinados para *Oreochromis niloticus*.

Dieta	MS (%)	% Materia Seca			EB (Mcal/Kg)	Coeficiente de Digestibilidad		
		PB	EE	CZ		Materia Seca	Proteína	Energía
Dieta Referencia	89,5	29,9	2,2	11,3	4118,6			
Harina de pescado 10%	88,3	33,8	3,8	11,8	4398,8	75,9 ± 1,7 <sup>a</sup>	88,1 ± 2,1 <sup>a</sup>	63,9 ± 8,0 <sup>b B</sup>
Harina de pescado 20%	92,5	40,4	4,2	11,7	4385,2	74,3 ± 2,7 <sup>a</sup>	89,4 ± 0,6 <sup>a</sup>	53,0 ± 1,3 <sup>b B</sup>
Harina de pescado 30%	90,3	45,9	5,0	12,2	4517,1	71,3 ± 6,2 <sup>a</sup>	90,9 ± 2,4 <sup>a</sup>	88,5 ± 0,7 <sup>b B</sup>
Harina de vísceras de pollo 10%	91,2	33,1	4,6	10,1	4427,9	72,3 ± 4,1 <sup>a</sup>	96,8 ± 0,6 <sup>a</sup>	53,8 ± 3,1 <sup>a A</sup>
Harina de vísceras de pollo 20%	88,3	34,6	8,1	10,4	4564,1	78,7 ± 2,8 <sup>a</sup>	94,9 ± 1,2 <sup>a</sup>	52,6 ± 4,4 <sup>b</sup>
Harina de vísceras de pollo 30%	90,9	39,7	9,8	10,6	4695,9	74,1 ± 6,4 <sup>a</sup>	94,1 ± 2,1 <sup>a</sup>	59,7 ± 1,0 <sup>b</sup>
Harina de quinua 10%	84,8	27,1	4,3	9,4	4346,4	58,8 ± 5,5 <sup>b</sup>	67,7 ± 7,6 <sup>b</sup>	29,0 ± 7,4 <sup>c B</sup>
Harina de quinua 20%	87,9	26,4	3,7	8,7	4227,6	64,4 ± 4,2 <sup>a</sup>	73,5 ± 5,1 <sup>b</sup>	52,0 ± 3,2 <sup>b A</sup>
Harina de quinua 30%	89,7	24,0	3,0	8,1	4227,0	59,9 ± 4,1 <sup>b</sup>	77,5 ± 2,9 <sup>b</sup>	66,1 ± 5,6 <sup>b A</sup>

Letras minúsculas diferentes en la misma columna indican significancia estadística ( $p < 0.05$ ) en la comparación entre todos los ingredientes; letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias entre niveles de inclusión para cada materia prima ( $p < 0.05$ ).

FUENTE: Gutiérrez-Espinosa *et al.* (2011)

## 2.2. Subproductos de la quinua.

Producto de la cosecha, trilla y posterior beneficiado de quinua se obtiene una variedad de subproductos que tradicionalmente tienen diferentes usos, en lo que respecta a la alimentación animal, se pueden utilizar el afrecho, los tallos y las hojas secas.

### 2.2.1. Alimentación de animales con afrecho de quinua.

Producto del proceso de escarificado del grano de quinua, se obtiene el afrecho, el cual está compuesto de los restos del pericarpio o cáscara del grano. Los agricultores, especialmente del altiplano, que cultivan la quinua utilizan estos subproductos de diferentes maneras, algunos los utilizan para alimentar a las ovejas, llamas, cuyes, mientras que otros preparan compost. El aporte nutritivo de proteína del afrecho de quinua varía del 11,14% al 14,94%, dependiendo de la forma en que sea procesada el grano, estos niveles de proteína demuestran que el afrecho de quinua tiene un gran potencial para ser utilizado en la preparación de

raciones para animales (Aduviri 2007).

Se estudió el efecto de la adición de 30 y 60% de afrecho de quinua, obtenidos por método seco y húmedo, y afrecho de trigo (control), en raciones de cuyes (*Cavia porcellus*), los resultados indican que los valores promedios más satisfactorios en cuanto a ganancia de peso vivo se obtuvo con los cuyes alimentados con raciones que contenían 30% de afrecho de quinua obtenido por vía seca (7,80 g/día), por vía húmeda (7,62 g/día) y con el control (7,35 g/día), el consumo se vio afectado con 60% de afrecho de quinua con valores bajo 16,50 g/día por vía húmeda frente a 21,34 g/día del tratamiento 30% por vía húmeda y el control con 21,25 g/día, se atribuye este bajo consumo a su baja palatabilidad por le excesiva adición del subproducto, mientras que el nivel de 30% de afrecho de quinua obtenido por vía seca o húmeda puede sustituir al afrecho de trigo, además se resaltar el efecto antiparasitario de parte de la quinua en el tracto digestivo de los cuyes (Aduviri 2007).

También en cuyes (Tuquinga Tuquinga 2011), evaluó dietas con diferentes niveles de desecho de quinua (20, 40 y 60%), frente a un tratamiento control (sin desecho de quinua) en la etapa de crecimiento y engorde, utilizando 96 cuyes hembras destetados de 28 días de edad. La adición de 40% de desecho de quinua muestra las mejores respuestas, así en la etapa de crecimiento alcanzaron un peso final de 813,23 g; con una ganancia de peso de 366,25 g a los 64 días de edad, con una ganancia de peso diario de 10,17 g y una conversión alimenticia de 4,53. En la etapa de engorde también con 40% de desecho de quinua en la dieta, se obtuvieron mejores respuestas tanto en el peso final (1107,50 g), ganancia de peso (294,17 g) a los 100 días de edad, ganancia de peso diario (8,17 g) y conversión alimenticia (8,33).

Carlson *et al.* (2012), evaluaron la adición de

afrecho de quinua de procedencia Sudamericana, en raciones de lechones, en dosis de 100, 300 y 500 mg/kg y una de origen Danés con 300 mg/kg (Cuadro 13). La adición de afrecho de quinua no influyó en la tasa de crecimiento, consumo de alimento o utilización de alimento de los lechones, a pesar de la gran diferencia en el contenido de saponina del afrecho de Sudamérica y Dinamarca con 28,7% y 2,0%, peso/peso respectivamente, por tanto el origen de la fuente de alimento no afectó el comportamiento de los lechones, aunque el consumo y ganancia de peso fue numéricamente bajo en lechones alimentados con 500 mg/kg de afrecho, que podría indicar que la concentración no excedió el nivel que tendría efectos negativos en la producción, y de alguna manera la reducción del consumo estaría relacionado con la baja palatabilidad, producto de la saponina presente en el afrecho que le otorga un sabor amargo.

**Cuadro 13.** Efecto de la adición de afrecho de quinua sobre la ganancia de peso, consumo y utilización de alimento de lechones durante los primeros 28 días del destete.

	Procedencia de afrecho de quinua					SEM	p-value
	Sudamérica				Dinamarca		
Dosis (mg/kg)	0	100	300	500	300		
Peso inicial (kg)	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	0,2	0,93
Peso final (kg)	16,4	16,6	16,8	16,0	16,5	0,5	0,41
Consumo (g/día)	412	415	426	387	412	18	0,17
Ganancia peso (g/día)	294	301	307	280	296	16	0,41
Ganancia:Consumo (kg/kg)	0,71	0,72	0,72	0,71	0,72	0,06	0,99

Los valores son la media de mínimos cuadrados

FUENTE: Carlson *et al.* (2012)

## 2.2. Alimentación de animales con tallos de quinua.

Frente a la escasez de forrajes en el altiplano de Perú y Bolivia, se estudiaron las posibilidades del uso de los tallos de quinua, especialmente en forma molida, aunque su valor nutritivo no fuese muy elevado. Cardozo *et al.* (1968), compararon el tallo de quinua con otros forrajes del altiplano central de Bolivia. En un primer ensayo con borregos, lograron incrementos de peso vivo comparables a raciones en base a cebada verde o cebada seca. En trabajos posteriores se compararon los tallos de quinua en raciones donde se reemplazaba el heno de avena o cebada, en dichas pruebas no se encontró

diferencia significativa en los tratamientos. En estos experimentos, la principal fuente alimenticia lo constituía el pastoreo de pradera nativa, al cual se suministraba la ración de suplemento a razón de 200 g diarios. Considerando que el porcentaje tallos de quinua en la ración variaba entre 35 a 65%, no se pudo detectar una diferencia en incremento de peso, no obstante, las razones de estos ensayos fueron para demostrar que los residuos del cultivo de la quinua pueden ser utilizados en la alimentación animal.

De manera similar Rizo Patrón y Soikes (1968), utilizaron paja de cebada con tallos de quinua en

la alimentación de ovinos, así como la adición de dos antibióticos, encontrándose incrementos de peso vivo superiores con la paja de cebada, pero al efectuar un análisis económico, estos favorecían el uso del tallo de quinua. En el Cuadro 14, se muestra el análisis de los tallos de quinua empleado en el ensayo de engorde de ovinos, los autores deducen que el efecto benéfico en el incremento del peso vivo, por la adición del antibiótico clortetraciclina a la paja de cebada, no se manifestó en la alimentación

con tallos de quinua, por otra parte, la relación entre el forraje consumido y la ganancia de peso, fue más estrecha en los alimentados con tallos de quinua, por lo cual las diferencias en el incremento de peso se debieron principalmente a las diferencias en consumo de forrajes, que favorecieron a la cebada, ya que el mayor contenido de fibra y la saponina de la paja de quinua influyeron negativamente en la palatabilidad por parte del animal.

**Cuadro 14.** Análisis de tallo de quinua

Componente	Porcentaje
Humedad	12,60
Proteína cruda	5,52
Grasa	0,77
Fibra	26,12
Nifex	46,56
Ceniza	9,43

FUENTE: Rizo Patrón y Soikes (1968) citado por Cardozo y Tapia (1979)

### 2.3. Alimentación de animales con Forraje de quinua.

La planta de quinua es utilizado como forraje para rumiantes, principalmente en zonas donde otras especies no pueden prosperar por las condiciones edafoclimáticas imperantes, como es el caso en las cercanías de los salares. Capelo (1980), indica que la quinua cosechada para forraje a los 135 días contiene 55 % de hoja y panoja y 45% de tallo, con 66,6 % de humedad y con un rendimiento 10,2 t/ha de materia seca. Mientras que Montoya y Roa (1985), reportan rendimientos de 2322 a 4242 kg/ha de materia seca con un contenido promedio de proteína de 15,42% de material proveniente de Perú y Bolivia, bajo el proyecto “Posibilidades de readaptación de la quinua en Colombia”, desarrollado en la década de los años 70 y 80, estos resultados fueron inferiores a los reportados en

México por Bañuelos Taváres *et al.* (1995), quienes evaluaron el rendimiento, la composición química y la digestibilidad in situ de 18 variedades de quinua, de diferente ciclo vegetativo (6 precoces, 6 intermedias y 6 tardías), las plantas fueron cortadas al final de la floración, los rendimientos de materia seca variaron entre 7733 a 11440 kg/ha con valores de proteína de 17, 81 a 18,98% de PC (Cuadro 15), los autores concluyen que la quinua tiene potencial de aprovecharse como recurso forrajero para rumiantes, considerando los rendimientos y su alto contenido de proteína. Para determinar el potencial de la planta de quinua como forraje fresco von Rütte (1988), reporta rendimientos desde la semana 9 a la 17, con incrementos de materia verde desde 18 a 74 t/ha con 12,6 a 18,6% de materia seca, presentando un contenido de proteínas variable desde 26 a 17% (semana 9 a la 16), con peaks en la semana 10 (29,5%) y semana 14 (28,5%).



**Cuadro 15.** Comparaciones entre tipos de precocidad para días al corte, rendimiento y composición de la quinua

	Tipo			
	Precoz	Intermedio	Tardía	EE
Días al corte	93,5a	98,40b	106,3c	0,85
Rendimiento:				
Forraje, kg/ha	59994a	67069b	74750c	831
MS, kg/ha	7733a	9243b	11440c	190
MSD, kg/ha	5171a	5892b	6688c	116
Composición:				
MS, %	13,60a	14,60b	16,00c	0,29
FIDN, % „	59,13	60,53	57,53	0,65
PC, %	17,96	17,81	18,98	0,32
PS, %	50,14	50,34	51,05	1,12
DISMS, %	66,22a	63,91a	58,81b	0,67

MS materia seca; MSD materia seca digestible; FIDN fibra insoluble en detergente neutro; PC proteína cruda; PS proteína soluble; DISMS digestibilidad *in situ* de la MS.

FUENTE: Bañuelos Taváres *et al.* (1995)

Por el interés en la producción de alpacas (*Lama pacos*) como una alternativa ganadera para ambientes limitantes no altiplánicos, se evaluó especies potencialmente forrajeras (López *et al.* 1996), en este caso se determinó la digestibilidad y consumo de heno de quinuilla (*Chenopodium album*), una maleza, frente a tres diferentes cortes de heno de alfalfa (*Medicago sativa*). La digestibilidad de la proteína de quinuilla fue de 73,8% frente a la alfalfa (71,3-76,1%), mientras que la digestibilidad de las paredes celulares (FDN) fue mayor en quinuilla (60,3%) que la alfalfa (44,3-54,6%), similar tendencia fue para la hemicelulosa con una digestibilidad de 17,2% para la quinuilla y de 6,6 a 9,4% para la alfalfa; el consumo voluntario en base seca, en ningún caso sobrepasó el 2% del peso vivo, con un consumo de quinuilla de 1,34 kg/100 kg y de alfalfa varió entre 1,75-1,95 kg/100 kg, los cuales expresados por unidad de tamaño metabólico alcanzó a 37,6 g/kg<sup>0,75</sup>/d en quinuilla, mientras que, en la alfalfa fue de 48,6-54,6 g/kg<sup>0,75</sup>/d, este menor consumo de quinuilla puede deberse en parte a su sabor amargo. En virtud a la

rusticidad de las alpacas en cuanto al consumo de forrajes de menor calidad la quinuilla constituiría una fuente alternativa de forraje.

Ramos y Cruz (2002), evaluaron el rendimiento de la planta de quinua para la producción de forraje frente a girasol (*Helianthus annuus*), amaranto (*Amaranthus cruentus*), dólico (*Lablab purpureus*), kenaf (*Hibiscus cannabinus*), soja (*Glycine max*) y maíz (*Zea mays*). La altura de planta para la quinua fue de 82,52 cm, con un porcentaje de materia seca de la planta entera, hojas y tallos de 18,88; 18,52 y 22,26%, respectivamente. Alcanzando un rendimiento de 2560 kg/ha, de los cuales un 48,36% estaba constituido por hojas. El contenido de proteínas de las hojas y planta entera fue de 302,08 y 560,64 kg/ha, respectivamente (Cuadro 16). La quinua mostró el porcentaje más alto de Ca (3,34%), con un contenido de 0,30% de P y 26,32% de FC. Los autores recomiendan la siembra de girasol y maíz para obtener mayor producción de forraje, mientras amaranto, soja, quinua y dólico para la producción de forraje de alta calidad.

**Cuadro 16.** Promedio de los parámetros productivos de la producción de forraje.

Cultivos	MS (t/ha)	Hojas (%)	Hojas (kg/ha)	Proteína hojas (kg/ha)	Proteína planta (kg/ha)
Girasol	7,11 <sup>a</sup>	48,35 <sup>e</sup>	3437,68 <sup>d</sup>	649,72 <sup>a</sup>	1188,79 <sup>a</sup>
Amaranto	2,25 <sup>d</sup>	64,02 <sup>a</sup>	1440,45 <sup>c</sup>	319,78 <sup>d</sup>	445,50 <sup>d</sup>
Dolicho	1,76 <sup>e</sup>	61,13 <sup>b</sup>	1075,88 <sup>d</sup>	231,13 <sup>e</sup>	366,08 <sup>e</sup>
Kenaf	4,47 <sup>c</sup>	49,94 <sup>cd</sup>	2232,31 <sup>b</sup>	428,60 <sup>c</sup>	826,95 <sup>b</sup>
Soya	2,71 <sup>d</sup>	50,30 <sup>c</sup>	1363,13 <sup>c</sup>	298,53 <sup>d</sup>	574,52 <sup>c</sup>
Maíz	6,22 <sup>b</sup>	49,31 <sup>cde</sup>	3067,08 <sup>a</sup>	503,00 <sup>b</sup>	833,48 <sup>b</sup>
Quinua	2,56 <sup>d</sup>	48,36 <sup>de</sup>	1238,60 <sup>d</sup>	302,08 <sup>d</sup>	560,64 <sup>c</sup>

Promedios con diferentes letras dentro la misma columna difieren significativamente al  $P > 0.05$ , de acuerdo a la prueba de Duncan.

FUENTE: Ramos y Cruz (2002)

A fin de encontrar alternativas forrajeras tolerantes a la sequía y heladas, así como adaptadas a suelos pobres y a elevadas altitudes, se evaluó la concentración y composición de saponinas en dos cultivos de quinua “Sajama” y “Chucara” para uso forrajero (Jasso Cantú *et al.* 2002), se aplicaron tres niveles de déficit de humedad en el suelo: bajo, medio y alto. Hubo diferencias en el contenido de saponinas, siendo mayor en plantas con bajo déficit de humedad con 0,456%, mientras que para las plantas con alto déficit de humedad fue de 0,386%, encontrándose un menor contenido de saponinas en la etapa de ramificación (0,309%) y el más alto en la etapa de floración (0,608%). Independiente del cultivar el rendimiento de la biomasa se incrementaba conforme se reducía el nivel de déficit de humedad, encontrándose valores de 5,94 y 6,54 t/ha de biomasa con déficit alto y, 10,81 y 10,61 t/ha de biomasa con bajo déficit de humedad para Sajama y Chucara respectivamente, constituyéndose la quinua como una alternativa forrajera para zonas elevadas con sequía.

En la búsqueda de nuevas alternativas forrajeras para el invierno se estudió sustituir heno de alfalfa por quinua en dietas para engorda de conejos, reemplazándose 100, 50 y 75% de alfalfa por quinua (Primero Rubio y Rojas Lemus 2007), los resultados encontrados indican que los parámetros productivos no fueron afectados con la inclusión de quinua en la dieta de alfalfa; con un consumo promedio de 83,92; 85,50 y 81,67 g respectivamente, frente a 100% de alfalfa (82,72 g) durante 6 semanas de engorda y, ganancias de peso de 1932,2; 2058,3 y 2023,3 g, respectivamente frente a 100% de alfalfa (1945 g), por tanto constituye una buena alternativa

de sustitución al heno de alfalfa en periodos de escasez.

Similarmente, se evaluó como alternativa alimenticia en caprinos, utilizándose heno de quinua de ecotipos provenientes del altiplano (Mix) y del sur (BO25) de Chile, que fueron comparadas con el heno de alfalfa (Ortiz Munizaga 2009). Los resultados indican que no presentaron diferencias significativas en los componentes del análisis químico proximal y del en el consumo diario de materia seca, con consumos promedios sobre los 536 g/d, 3,6% del peso vivo, aunque la tendencia es a una mayor preferencia por la alfalfa, observándose un mayor rechazo a la quinua proveniente del sur. En cuanto a los coeficientes de digestibilidad aparente, hubo diferencias significativas en los valores obtenidos para PC (83,5a %, 78,3b % y 67,3b %), FDN (49,3a %, 62,3b % y 57,3a, b %), y Hemicelulosa (39,6a %, 73,8b % y 71,3b %) para alfalfa, Mix y BO25 respectivamente. No presentaron diferencias en cuanto al peso vivo (promedio 14 kg PV) y la condición corporal (valor promedio 2,6); aunque se destaca una tendencia de pérdida de peso total del período (1,5 kg) y diaria (107 g/d) para los animales alimentados con BO25, que indica una mejor aptitud forrajera para la quinua proveniente del altiplano, pudiendo considerarse como una buena alternativa forrajera para los caprinos, y sobre todo en zonas áridas donde escasea el forraje.

#### 2.4 Alimentación de animales con ensilaje de quinua.

Buscando alternativas para suplementar la escasez de alimento durante el invierno altiplánico se efectuaron pruebas de ensilaje de la planta de

quinua. En la Estación Experimental Chinolí, dependiente del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria se llevó a cabo un ensayo de alimentación de corderos criollos con ensilaje de quinua y cebada, cuyos tratamientos fueron 100% quinua; 75%quinua + 25% cebada y 100% cebada, frente a un control a pastoreo más la suplementación con residuos de cosecha, básicamente rastrojo de maíz (Cuadro 17), hubo un mayor consumo de los

ensilajes que contenían quinua con un promedio de 2,5 kg diario, logrando una ganancia diaria de 140 g (Cuadro 18), por tanto, la inclusión de la planta de quinua como ensilaje en la dieta de corderos constituye una alternativa de alimentación viable para los productores ovinos, capaz de sustituir al rastrojo de maíz, por otra parte, se obtendrían mejores respuestas en ovinos cruzados con razas especializadas en la producción de carne (Bilbao la Vieja Gutiérrez 1995).

**Cuadro 17.** Composición bromatológica de los ensilajes de quinua y cebada.

	Tratamientos		
	Quinua (100%)	Quinua+Cebada (75%+25%)	Cebada (100%)
Proteína Cruda %	13,07	9,61	4,32
Materia seca %	89,39	89,00	89,39
Cenizas %	14,38	11,90	7,56
Extracto Etéreo %	2,16	1,58	1,66
Fibra Cruda %	14,47	17,65	24,48
E.L.N. %	51,72	48,26	45,31
N. D. T. (%)	62,83	63,14	65,60
E. D. (Mcal/Kg MS)	2,76	2,77	2,88
E. M. (Mcal/Kg MS)	2,26	2,27	2,36
Calcio	1,54	0,83	0,20
Fósforo	0,22	0,26	0,12

FUENTE: Bilbao la Vieja Gutiérrez (1995)

**Cuadro 18.** Ganancia de peso y consumo de ovejas criollas con ensilaje de quinua y cebada

Detalle	Tratamientos			Testigo
	Quinua (100%)	Quinua+Cebada (75%+25%)	Cebada (100%)	
Número de animales	4	4	4	4
Días de alimentación	28	28	28	28
Peso Inicial, Kg	19,37	18,75	17,75	19,25
Peso Final, Kg	23,37	22,62	19,75	19,87
Incremento de peso total, Kg	4,00a	3,87a	2,00b	0,62c
Incremento peso vivo por día, Kg	0,142	0,138	0,071	0,022
Consumo de ensilaje, Kg	295,70	277,55	207,10	
Consumo diario, Kg	10,56a	9,91a	7,39b	
Consumo individual, Kg	2,64a	2,47a	1,84b	

FUENTE: Bilbao la Vieja Gutiérrez (1995)

## 2.5 Costos de la inclusión del grano y subproductos de la quinua en la alimentación animal.

Pocas publicaciones realizan un análisis de los costos que involucra la adición de quinua en sus distintas presentaciones en la alimentación animal, costos que fueron calculados cuando la demanda de quinua se enmarcaba en el mercado local, y podía ser utilizada como una alternativa de sustitución a otros alimentos de la dieta animal. En la elaboración de ensilaje, el costo de la ración con 100% de planta de quinua fue de 0,0255 USD/Kg, la ración con 75% de inclusión se elevó a 0,0276 USD/Kg, mientras que el ensilaje de 100% de planta de cebada fue la más costosa con 0,0340 USD/Kg (Bilbao la Vieja Gutiérrez 1995).

De las raciones basadas en afrecho de quinua (Aduviri 2007), la más económica fue la que contenía un 60% (0,0009 USD/kg), seguida de la adicionada en un 30% (0,0014 USD/Kg), la ración control fue la más costosa con 0,0015 USD/Kg, debido al elevado precio del afrecho de trigo (40% de la ración). Mientras que, Muñoz Tunubala *et al.* (2007), indican que el costo de las raciones con 15; 30 y 45% de harina de quinua tuvieron un valor de 0,5145; 0,4733 y 0,3630 USD/Kg, respectivamente, frente al control que fue de 0,4990 USD/Kg. Durante este periodo, el precio del grano procesado promediaba los 1,27 USD/Kg.

Mosquera *et al.* (2009), determinaron los costos de las raciones preparadas en base a la adición de 5, 15 y 25% de grano de quinua, durante la etapa de iniciación fueron de 0,3329; 0,3435 y 0,3540 USD/Kg, respectivamente, frente al control sin quinua que tuvo un costo de 0,4285 USD/Kg; mientras que, en la fase de finalización fue de 0,3432, 0,3537 y 0,3642 USD/Kg, respectivamente, y el control de 0,3877 USD/Kg. Durante este periodo, el precio del grano procesado promedio los 2,60 USD/Kg.

En el escenario actual donde la demanda internacional por grano de quinua ocasiona una elevación constante de los precios, y todo indica que no bajarán. De acuerdo a Jacobsen (2011), los precios de la quinua sin procesar se incrementaron desde 0,312 USD/Kg en el año 2000 hasta 2,187 USD/Kg en el año 2008, actualmente a nivel internacional tiene un valor de 2500 a 3000 USD/TM. Por tanto, bajo las actuales circunstancias, probablemente la inclusión de grano quinua resulte en dietas más

costosas que las raciones control, lo que haría inviable su uso en la producción animal tradicional. En cambio el uso de los subproductos y residuos de cosecha podrían constituir una alternativa más real de utilización, pero existiría una competencia por estos productos que contienen saponina, de parte de la industria cosméticas y farmacéutica entre otras que requieren de este insumo (Mujica *et al.* 2001). Esta situación, lleva a definir si tenemos los elementos necesarios para plantearnos con certeza la utilización del grano y sus derivados como sustituto en la dieta animal, tendría muchos méritos el realizar estudios económicos al respecto.

## 3. Consideraciones finales.

El grano de la quinua es de una alta calidad nutritiva, con alto nivel de proteína, que constituye una buena alternativa alimenticia especialmente en la producción de no rumiantes, básicamente aves y porcinos. Esta cualidad también se manifiesta en los residuos provenientes de la cosecha, trilla y beneficiado del grano.

El contenido de saponinas constituye un factor que limita y disminuye el consumo y repercute en la ganancia de peso vivo, por tanto, previo a la incorporación a la ración debe ser eliminada. No obstante, está la opción de utilizar granos de cultivares dulces que tienen poca o nula saponina, lo cual evitaría el tener que desaponificar.

El nivel de sustitución de la quinua dentro de una ración de no rumiantes, ya sea de granos o subproductos de su beneficiado, no debe exceder el 30% de la dieta, de esta manera el consumo no se verá afectado por la presencia de saponina, si se trata de quinua amarga esta debe ser desaponificada por la vía húmeda.

En rumiantes la utilización de quinua básicamente es en la forma de forraje, ensilaje y la adición de residuos de cosecha (tallos y hojas), no existiendo problemas por la presencia de saponinas, al contrario en cierta manera ejerce un control de los parásitos internos.

La quinua se constituye en un cultivo multipropósito y debiera ser una opción alimenticia de los animales, en lugares donde la producción de grano es importante, por la cantidad de residuos producto de su cultivo y beneficiado.

En el escenario actual, no existen elementos



económicos necesarios que nos den certeza de que la inclusión del grano, subproductos y residuos de cosecha de la quinua sean aplicables comercialmente en la producción animal.

### Referencias.

Abreu, A, JE Carulla, CE Lascano, TE Díaz, M Kreuzer & HD Hess (2004). Effects of Sapindus saponaria fruits on ruminal fermentation and duodenal nitrogen flow of sheep fed a tropical grass diet with and without legume. *Journal of Animal Science* 82: 5, 1392-1400.

Aduviri, G (2007). Aplicación de diferentes niveles de subproductos del beneficiado de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la preparación de raciones para cuyes (*Cavia porcellus* L.) en crecimiento y engorde. *RELAN* 3: 1, 4-11.

Ahamed, NT, RS Singhal, PR Kulkarni & M Pal (1998). A lesser-known grain, *Chenopodium quinoa*: Review of the chemical composition of its edible parts. *Food and Nutrition Bulletin* 19: 1, 61-70.

Bañuelos Taváres, O, GD Mendoza Martínez, JL Rodríguez Ontiveros & A Muñoz Orozco (1995). Forage evaluation of 18 varieties of quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Montecillo, Mexico. *Revista Facultad Agronomía (LUZ)* 12: 71-79.

Bhargava, A, S Shukla & D Ohri (2006). *Chenopodium quinoa*—An Indian perspective. *Industrial Crops and Products* 23: 1, 73-87.

Bilbao la Vieja Gutiérrez, R (1995). *Ensilaje de quinua y cebada para alimentación de ovinos en crecimiento en el área de Lequezana - Potosí*. Ingeniero Agrónomo Pregrado, Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca.

Bonifacio, A (2006). El futuro de los productos andinos en la región alta y los valles centrales de los Andes. *UNIDO*.

Borges, JT, RC Bonomo, CD Paula, LC Oliveira & MC Cesário (2010). Physicochemical and nutritional characteristics and uses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Temas Agrarios* 15: 1, 9-13.

Canahua Murillo, A & Á Mujica Sánchez (2013). QUINUA: Pasado, presente y futuro. *Agro Enfoque* 28: 186, 13-17.

Capelo, W (1980). Evaluación del potencial forrajero

y alimenticio de la quinua dulce “Sajama” y quinua amarga “chaucha” en tres épocas de corte. *II Congreso Internacional de Cultivos Andinos*. . 4 – 8 Abril Riobamba, Ecuador. ESPOCH, 57-84.

Cardozo, A (1959). *Estudio comparativo del valor nutritivo de torta de palma africana, quinua y leche descremada en polvo*. 46 p. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, IICA, Turrialba, Costa Rica.

Cardozo, A, V Romero & H Choque (1968). El tallo de quinua en la alimentación de ovinos. In: UNTA (ed). *Convención de Quenopodiáceas*, 1968 Puno, Perú. Universidad Nacional Técnica del Altiplano, 119-127.

Cardozo, A & M Tapia (1979). Valor nutritivo. In: TAPIA M, GANDARILLAS H, ALANDIA S, CARDOZO A & MUJICA A (eds). *Quinua y kañiwa: cultivos andinos*, CIID. Oficina Regional para la América Latina. IICA, Bogotá, Colombia, 149-182.

Carlson, D, JA Fernandez, HD Poulsen, B Nielsen & SE Jacobsen (2012). Effects of quinoa hull meal on piglet performance and intestinal epithelial physiology. *Journal of Animal Physiology & Animal Nutrition* 96: 2, 198-205.

Cuadrado, C, G Ayet, C Burbano, M Muzquiz, L Camacho, E Cavieres, M Lovon, A Osagie & KR Price (1995). Occurrence of saponins and sapogenols in Andean crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67: 2, 169-172.

Díaz, J, MF Díaz & S Cataneda (1995). A note on the use of *Chenopodium quinoa* forage meal in pre-fattening pigs. *Cuban Journal of Agricultural Science* 29: 2, 223-226.

Francis, G, Z Kerem, HP Makkar & K Becker (2002). The biological action of saponins in animal systems: a review. *The British journal of nutrition* 88: 6, 587-605.

Galwey, NW (1992). The potential of quinoa as a multi-purpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and Products* 1: 2–4, 101-106.

Gandarillas, H (1948). Efecto fisiológico de la saponina de la quinua en los animales. *Revista de Agricultura (Bolivia)* 4: 52-56.

Gandarillas, H, A Cardozo & S Alandia (1968). La alimentación con quinua en el crecimiento de pollos y cerdos. *Boletín Experimental* 33. Bolivia:

Ministerio de Agricultura.

Gee, JM, KR Price, CL Ridout, GM Wortley, RF Hurrell & IT Johnson (1993). Saponins of quinoa (*Chenopodium quinoa*): Effects of processing on their abundance in quinoa products and their biological effects on intestinal mucosal tissue. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 63: 2, 201-209.

Gutiérrez-Espinosa, MC, MI Yossa-Perdomo & W Vásquez-Torres (2011). Apparent digestibility of dry matter, protein and energy regarding fish meal, poultry by-product meal and quinua for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Orinoquia* 15: 2, 169-179.

Hernández Bermejo, JE & J León (1994). *Neglected crops 1492 from a different perspective*. 341 p. FAO, Rome.

Improta, F & RO Kellems (2001). Comparison of raw, washed and polished quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to wheat, sorghum or maize based diets on growth and survival of broiler chicks. *Livestock Research for Rural Development* (Online): Available: <http://www.lrrd.org/lrrd13/1/impr131.htm>.

Jacobsen, EE, B Skadhauge & SE Jacobsen (1997). Effect of dietary inclusion of quinoa on broiler growth performance. *Animal Feed Science and Technology* 65: 1-4, 5-14.

Jacobsen, SE (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19: 1-2, 167-177.

Jacobsen, SE (2011). The Situation for Quinoa and Its Production in Southern Bolivia: From Economic Success to Environmental Disaster. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 5, 390-399.

Jasso Cantú, D, JB Soliz Guerrero, R Rodríguez García & JL Angulo Sánchez (2002). Quinoa para forraje: análisis de concentración y composición de saponinas. *Resultados de proyectos de investigación 2002*. Saltillo, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Jenkins, KJ & AS Atwal (1994). Effects of dietary saponins on fecal bile acids and neutral sterols, and availability of vitamins A and E in the chick. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 5: 3, 134-137.

León Hancoco, JM (2003). Cultivo de la quinua en Puno-Perú: Descripción, manejo y producción. *Universidad Nacional Agraria, UNA*. Puno, Perú.

López, A, R Cabrera & ME Rojas (1996). Digestibilidad aparente de forrajes secos por la alpaca (*Lama pacos*). I. Henos de alfalfa (*Medicago sativa*) de tres calidades y heno de quihuilla (*Chenopodium albin*). *Avances en Ciencias Veterinarias* (Online), 11: 1. Available: <http://www.avancesveterinaria.uchile.cl/index.php/ACV/article/viewArticle/4759/4644> (Accessed 8 September 2013).

Makkar, HPS & K Becker (1998). Adaptation of cattle to tannins: rôle of proline-rich proteins in oak-fed cattle. *Animal Science* 67: 02, 277-281.

Martínez Claure, CF (1946). La quinua. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura. Dirección General Administración.

Mastebroek, HD, H Limburg, T Gilles & HJP Marvin (2000). Occurrence of saponins in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 1, 152-156.

Mogollón, M & M Rentería (1975). *Comparación de cuatro niveles de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en la alimentación de pavos de carne en la raza Bichols*. Ingeniero Agrónomo Pregrado, Universidad Central.

Montoya, H & J Roa (1985). *Comportamiento de diecinueve colecciones de quinua Chenopodium quinoa, en tres localidades de la Sabana de Bogotá y el Páramo de Sumapaz*. Ingeniero Agrónomo Pregrado, Universidad Nacional de Colombia.

Montoya Restrepo, LA, L Martínez Vianchá & J Peralta Ballesteros (2005). Análisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. *INNOVAR*: 103-119.

Mosquera, ML, S Portilla & FJ Lopez (2009). Nutritional effect evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* willdenowii) with different levels of inclusion in diets for broiler chickens. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 7: 1, 76-90.

Mujica, A, S-E Jacobsen, J Izquierdo & J-P Marathe 2001. *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro* (Online). Santiago, Chile: FAO. Available: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/home03.htm> (Accessed 3 May 2013^2013).

- Muñoz Tunubala, Y, G Casso Ramos & OM Meneses (2007). *Evaluación del rendimiento nutricional de la harina de quinua (Chenopodium quinoa Willdenow), como aporte de proteína y energía en la elaboración de dietas, para alimentación de pollos en la fase de ceba, en la Vereda la Tetilla, municipio de Popayán, Cauca*. Zootecnista Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia "Unad".
- Negron, A, E Alvarez & E Calmet (1976). La quinua y la cañihua en raciones de pollos parrilleros en Puno, Perú. In: IICA (ed). *2da. Convención Internacional de Quenopodiáceas*, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, IICA, Potosí, Bolivia,
- Nossa, A & D Garzón (1976). *La quinua en la alimentación de codornices*. Pregrado, Universidad Nacional de Colombia.
- Ortiz Munizaga, F (2009). *Evaluación nutricional de dos ecotipos de quínoa (Chenopodium quinoa willd.) como alternativa forrajera para el ganado caprino*. Médico Veterinario Pregrado, Universidad de Chile.
- Pate, RN, NP Johnston, E Rico, A Bonifacio, RO Kellems & DL Kooyman (2006a). The palatability of sweet (Surumi, Pagacamaya, Sayana, Chucapaca) and bitter (Real) Bolivian quinoa cultivars, corn, barley, and oats as guinea pig footstuffs. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science*, 2006 Logan, Utah. 229-232.
- Pate, RN, NP Johnston, E Rico, A Bonifacio, RO Kellems & DL Kooyman (2006b). A study of sweet (Surumi, Patacamaya, Sayana, Chucapca) and bitter (Real) Bolivian quinoa cultivars compared to corn, barley, and oats on the growth of improved guinea pigs. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science*, 2006 Logan, Utah. 225-228.
- Primero Rubio, R & EN Rojas Lemus (2007). *Forraje de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) como sustituto de forraje de alfalfa (Medicago sativa L.) en dietas para conejos de engorda*. Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia Pregrado, Universidad Autónoma Chapingo.
- Ramos, N & AM Cruz (2002). Evaluation of seven seasonal crops for forage production during the dry season in Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science* 36: 3, 271-276.
- Rizo Patrón, O & R Soikes (1968). Empleo de las pajas de quinua y cebada en el engorde intensivo de ovinos con suplementación de antibióticos. In: UNTA (ed). *Convención de Quenopodiáceas*, Puno, Perú. Universidad Nacional Técnica del Altiplano, 129-145.
- Rogosic, J, RE Estell, S Ivankovic, J Kezic & J Razov (2008). Potential mechanisms to increase shrub intake and performance of small ruminants in mediterranean shrubby ecosystems. *Small Ruminant Research* 74: 1-3, 1-15.
- Tuquinga Tuquinga, FR (2011). *Evaluación de diferentes niveles de desecho de quinua en la etapa de crecimiento y engorde de cuyes*. Ingeniero Zootecnista Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Ugarte, JL (1956). *Digestibilidad del grano de quinua en ovinos*. Ingeniero Agrónomo Pregrado, Escuela Nacional de Agricultura y Veterinaria.
- Vargas Ramírez, HE & LA Carreño Salamanca (2007). *Evaluación del grano de quinua (Chenopodium quinoa willd) en tres presentaciones lavado, precocado y germinado, como alternativa nutricional en la etapa de finalización en conejos - Granja Surbatá ICA, Duitama*. Zootecnista Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia "Unad".
- von Rütte, S (1988). Producción de quinua verde para forraje fresco y ensilaje para ganado. *VI congreso internacional sobre cultivos andinos*, 30/05/ al 02/06/ Quito, Ecuador. CIID - Canada, 9-11.

## CAPÍTULO: 3.3

## TÍTULO: SAPONINAS

\*Autor para correspondencia: Jacopo TROISI <[laboratorio.troisi@na.camcom.it](mailto:laboratorio.troisi@na.camcom.it)>.

J. TROISI<sup>a\*</sup>, R. DI FIORE<sup>a</sup>, C. PULVENTO<sup>b</sup>, R. D'ANDRIA<sup>b</sup>, ANTONIO VEGA-GÁLVEZ<sup>c</sup>, MARGARITA MIRANDA<sup>c</sup>, ENRIQUE A. MARTÍNEZ<sup>d</sup>, A. LAVINI<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Laboratorio Chimico Merceologico, Az. Spec. CCIAA, Corso Meridionale 58, I-80134 Napoli, Italia.

<sup>b</sup>CNR – Institute for Agricultural and Forest Mediterranean System (ISAFoM)), Ercolano (NA), Italia

<sup>c</sup>Universidad de La Serena, Facultad de Ingeniería, Av. Raúl Bitrán s/n, Box 599, La Serena, Chile.

<sup>d</sup>Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, CEAZA, Avda. Raúl Bitrán s/n, La Serena, Chile.

## Resumen:

El término saponina se deriva de la palabra Latina *sapo*, que significa “jabón”, lo que refleja su disposición para formar espumas estables parecidas al jabón en soluciones acuosas. El rol biológico de las saponinas no es comprendido completamente, pero generalmente son consideradas como parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros, especialmente debido a su sabor amargo. Las saponinas consisten de aglicona y azúcar, cada uno representando aproximadamente el 50% del peso total de la molécula. En la quinua, las saponinas son una mezcla compleja de glucósidos triterpénicos que se derivan de siete agliconas: ácido oleanólico, hederagenina, ácido fitolacagénico, ácido serjánico, ácido 3 $\beta$ -Hidroxi-23-oxo-olean-12-en-28-oico, ácido 3 $\beta$ -Hidroxi-27-oxo-olean-12-en-28-oico, y ácido 3 $\beta$ ,23 $\alpha$ ,30 $\beta$ -Trihidroxi-olean-12-en-28-oico, mientras que los azúcares mejor representados pueden ser la arabinosa, glucosa, y galactosa. Las saponinas han sido consideradas un grave factor antinutricional debido a su actividad hemolítica, que ha contribuido a una larga controversia sobre sus funciones en los alimentos. Se cree que las saponinas pueden formar complejos con esteroides de la membrana eritrocitaria, provocando un aumento en su permeabilidad y consiguiente pérdida de hemoglobina. Los últimos estudios de su actividad biológica *in vitro* e *in vivo* han asociado

las saponinas con diversos beneficios para la salud. Las numerosas actividades biológicas asociadas a las saponinas incluyen efectos antiinflamatorios, anticancerígenos, antibacteriales, antifúngicos, y antivirales. También son de interés como valiosos adyuvantes, y las primeras vacunas basadas en saponinas han sido introducidas comercialmente. Tradicionalmente, las semillas de quinua son desgastadas mecánicamente para retirar el salvado, donde se sitúan predominantemente las saponinas, o son lavadas con agua para quitar amargura antes de su uso. Durante los procesos de lavado para eliminar las saponinas amargas, también se pierden valiosos nutrientes y se puede cambiar la composición química y el perfil de los aminoácidos de las semillas de quinua. El nivel final del contenido de saponinas en semillas de quinua para consumo sigue siendo una gran preocupación en términos de su amargura y posibles efectos biológicos negativos. Se ha creado un modelo matemático basado en la segunda ley de Fick para optimizar el proceso de lixiviación de saponinas de las semillas de quinua durante el lavado con agua.

Muchos estudios se han enfocado en los efectos de las diferentes variables agronómicas, como irrigación y salinidad, en los perfiles de la saponina de quinua. Se ha observado que las saponinas disminuyen en las muestras que han sido expuestas a sequía y regímenes salinos. Estos resultados sugieren que la irrigación y salinidad pueden



regular el contenido de saponinas de la quinua, influenciando su valor nutricional e industrial.

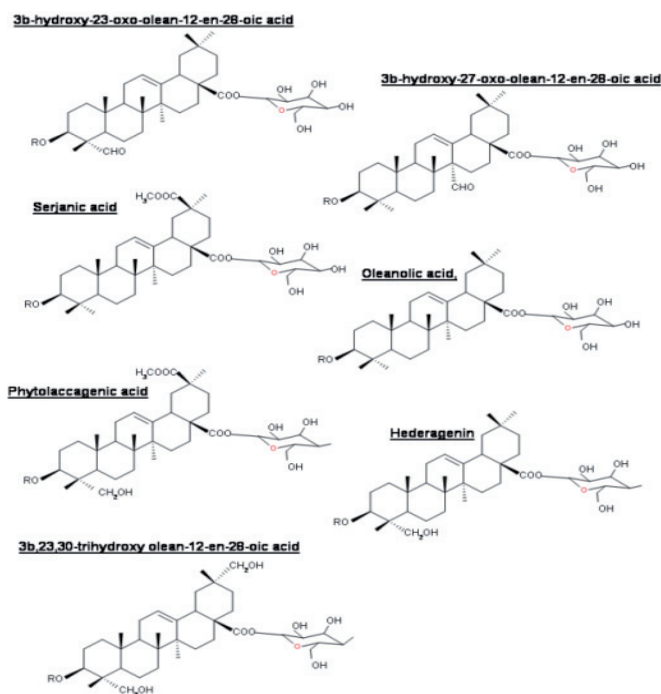
Los estudios actuales evalúan las diferentes composiciones del contenido de saponina en siete variedades de semillas de quinua cultivada en Italia y seis variedades de quinua cultivada en Chile bajo condiciones de secano o baja irrigación. Las semillas de localidades chilenas más áridas o estresantes tienen un contenido de saponina más alto.

## 1. Introducción

### 1.1 Química de las saponinas.

Las saponinas son compuestos que se encuentran en muchas plantas (*Sparg et al. 2004*). Deben su nombre a la característica distintiva de formar espuma. Su nombre probablemente proviene de la planta *Saponaria*, cuyas raíces se han usado históricamente para formar jabón (del latín *sapo*

=jabón) (*Augustin et al. 2011*). Químicamente, son glucósidos con una aglicona (porción libre de glucósido) policíclica que puede ocurrir en la forma de un esteroide o colina triterpenoide ligada a través del carbono C3 por medio de un enlace etéreo a una cadena lateral de azúcares. Comúnmente también se refiere a la aglicona como sapogenina, mientras que también se refiere comúnmente al subconjunto de saponinas esteroides como sarapogenina. Las saponinas son anfipáticas debido a su función aglicona liposoluble y su cadena de sacáridos que, a su vez, es hidrosoluble. Esta característica es la base de su capacidad para formar espuma. Las saponinas son percibidas como amargas, y esto reduce las características organolépticas y palatabilidad de los productos ricos en ellas. Sólo algunas (generalmente aquellas con aglicona triterpenoica) tienen un buen sabor, que recuerda a la raíz de regaliz.



**Figura 1:** Estructuras de las saponinas: Ácido 3B-hidroxi-23-oxo-olean-12-en-28-oico; ácido 3b-hidroxi-27-oxo-olean-12-en-28-oico; ácido serjánico; ácido oleanólico; ácido fitolacagénico; hederagenina; ácido 3b,23,30-trihidroxi olean-12-en-28-oico.

La figura 1 resume las 7 agliconas identificadas hasta el momento en distintas partes de la quinua (flores, frutos, cubierta de las semillas, y semillas) (*Kuljanabhagavad et al. 2008*). Estas estructuras se han obtenido por medio de extensivas

caracterizaciones de RMN y espectrometría de masas. La mayor parte de la variabilidad es generada por las cadenas laterales de sacáridos; de hecho las 7 agliconas dan luz a más de 20 saponinas, según se indica en la cuadro 1.

**Cuadro 1:** Saponinas derivadas de las 7 agliconas encontradas en la quinua.

Compuesto	Cadena lateral de azúcar	Aglicona
1	$\beta$ -D-Glc(1→3)- $\alpha$ -L-Ara	I
2		II
3		III
4		IV
5		V
6		VI
7		VII
8	$\alpha$ -L-Ara	III
9		V
10		VI
11	$\beta$ -D-GlcA	III
12		IV
13		VI
14	$\beta$ -D-Glc(1→2)- $\beta$ -D-Glc(1→3)- $\alpha$ -L-Ara	III
15		IV
16		V
17	$\beta$ -D-Xyl(1→3)- $\beta$ -D-GlcA	IV
18	$\beta$ -D-Glc(1→3)- $\beta$ -D-Gal	V
19		VI
20	$\beta$ -D-Glc(1→4)- $\beta$ -D-Glc(1→4)- $\beta$ -D-Glc	V

## 1.2 Biosíntesis de la Saponina.

La evidencia de que la sobreexpresión de la escualeno sintasa puede inducir un alza en la regulación de saponinas y fitoesteroles (Lee et al. 2004) sugiere que esta enzima está involucrada en la ramificación de las vías biosintéticas que conducen a la síntesis de fitoesteroles y saponinas. A partir de esta información se consolida la idea de que las saponinas derivan del mismo proceso anabólico que lleva a la formación de fitoesteroles. Todos los terpenoides derivan de la condensación de elementos esenciales de cinco carbonos llamados IPP (3-isopentenil-pirofosfato) y DMAPP (dimetilalil pirofosfato). En plantas, los IPP y DMAPP derivan desde la condensación de actil-CoA en la vía del mevalonato o a partir de piruvato y fosfogliceraldehidos. La biosíntesis terpenoide en las plantas está ampliamente compartimentada: los esteroides, triterpenos y saponinas se sintetizan

principalmente en el citosol, utilizando IPP de la vía del mevalonato.

Flores-Sanchez et al. (2002) llevaron a cabo experimentos en los que fue inhibida la actividad de la HMG-CoA reductasa, una enzima clave en la síntesis de mevalonato y escualeno, lo que llevó a una reducción de los fitoesteroles y la biosíntesis de ácido ursólico/oleanólico, confirmando la hipótesis de que la vía biosintética de las saponinas está ligada a la de los esteroides vegetales por medio de la síntesis de escualeno.

Los IPP y DMAPP son sometidos a la condensación por un intermediario de diez carbonos GPP (geranil pirofosfato), y la adición de una segunda unidad de IPP produce FPP (farnesil pirofosfato, C15), el precursor común de la gran variedad de sesquiterpenos producidos por las plantas. La vinculación de dos unidades de FPP conduce a la formación de

escualeno (C30), que posteriormente se epoxidiza en 2,3-oxidoescualeno (C30). El 2,3-oxidoescualeno es considerado el último precursor común de las saponinas triterpenoides, los fitoesteros y las saponinas esteroidales. Aun no se esclarecen los pasos donde diverge la biosíntesis de saponinas esteroidales y los fitoesteros, aunque Kalinoswska et al. (2005) sugirieron al colesterol como precursor de las saponinas esteroidales.

El primer paso en la biosíntesis de saponinas triterpenoides y fitoesteros es la ciclización de 2,3-oxidoescualeno. Durante este proceso se introducen enlaces internos en la estructura del oxidoescualeno, resultando en la formación de moléculas predominantemente policíclicas que contienen diversos números de anillos de 5- y 6-miembros. El alto número de posibilidades para establecer diferentes enlaces internos durante la ciclización da lugar a una amplia gama de estructuras diversas, y en la naturaleza se han encontrado más de 100 distintos esqueletos de triterpeno. Sin embargo, de toda esta diversidad, al parecer sólo se utiliza un número limitado de posibles ciclizaciones en la biosíntesis de saponina.

Luego de la formación de estructuras basales de sapogenina, estos precursores comunes generalmente son sometidos a diversas modificaciones previas a la glicosilación. Las modificaciones más comunes de la sapogenina son pequeños grupos funcionales tales como grupos hidroxilo-, keto-, aldehído-, y carboxilo en diversas posiciones de la estructura de base.

Los patrones de glicosilación de las saponinas a menudo son considerados cruciales para su actividad biológica. Los patrones típicos de glicosilación de saponinas triterpenoides consisten en cadenas de azúcares oligoméricos, 2-5 unidades monosacáridas, que más a menudo están enlazadas en las posiciones C3 y/o C28. Menos a menudo, se ha informado que 1-2 unidades monosacáridas ocurren en las posiciones C4, C16, C20, C21, C22, y/o C23. La glucosa, galactosa, ácido glucurónico, ramnosa, xilosa y arabinosa son las hexosas y pentosas más abundantes en las cadenas de sacáridos. La glicosilación de saponinas presumiblemente involucra la actividad secuencial de distintas enzimas pertenecientes a la familia de multigenes de la familia uridina difosfato glicosiltransferasa (UGTs).

### 1.3 Papel Biológico.

Las saponinas tienen diferentes actividades bioquímicas: en particular, Francis et al. (2002) revisaron estas características, informando, entre otras, una fuerte actividad hemolítica, antimicrobiana, fungicida, alelopática, insecticida, y molusquicida, además de efectos como coadyuvante de vacunas, según examinado por Vega-Gálvez et al. (2010). Por ende, a pesar de que el verdadero significado biológico de las saponinas en la quinua aún no ha sido determinado en su totalidad, la idea actual es que son parte del aparato de defensa vegetal contra depredadores.

#### 1.3.1 Actividad hemolítica.

Uno de los sistemas utilizados para probar la presencia de saponinas en un extracto vegetal o en una droga se basa en la incubación del extracto con glóbulos rojos y en la verificación del grado de hemólisis de la muestra. La capacidad de las saponinas para romper la membrana de los eritrocitos está vinculada a la capacidad de las saponinas para fijar los esteroides de la membrana (Khalil et al. 1994). Como resultado de ello, la membrana estalla, provocando un aumento en la permeabilidad y una pérdida de hemoglobina. Baumann et al. (2000) han investigado el efecto de las saponinas en la estructura de la membrana por medio de la hemólisis de eritrocitos humanos. Sus resultados indican que los eritrocitos lisados por saponinas no vuelven a sellarse, y por lo tanto indican que el daño a la bicapa lipídica inducido por saponinas es irreversible. El nivel de actividad hemolítica ha sido atribuido al tipo de aglicona y a la presencia de cadenas laterales de azúcares.

#### 1.3.2 Actividad anti-inflamatoria.

En el ensayo de edema inducido por carragenano, muchas saponinas aisladas de fuentes vegetales han producido una inhibición de la inflamación. Kim et al. (1999) sugirieron que la actividad anti-inflamatoria de estas saponinas se relaciona con una acción anticomplementaria a través de la vía clásica de la inflamación. El ácido oleanólico y el ginsenosido Ro mostraron la mayor actividad anticomplementaria.

#### 1.3.3 Actividad antifúngica y antilevaduras.

Se ha informado que las saponinas triterpenoides de las semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. (Chenopodiaceae) tienen actividad antifúngica (Woldemichael y Wink, 2001). En un estudio realizado

por Bader et al. (2000) se demostró que la actividad antifúngica de las saponinas frente a diferentes cepas de *Candida albicans* puede ser influenciada por la variación de las unidades de carbohidratos enlazados eterglicosídicamente y el oligosacárido enlazado acilglicosídicamente en C-28 de la aglicona. Sin embargo, sólo una mezcla de saponinas crudas inhibió el crecimiento de *Candida albicans*. Los compuestos puros demostraron poca o ninguna actividad, lo que sugiere un posible efecto sinérgico entre estas saponinas. Saponinas modificadas en laboratorio tienen efecto contra el hongo *Botrytis cinerea* (Stuardo y San Martín 2008).

#### 1.3.4 Actividad antibacterial/antimicrobiana.

También se ha reportado que las saponinas tienen actividad antimicrobiana (Killeen et al., 1998). Las saponinas solubles en alcohol han demostrado tener actividad antimicrobiana tanto en organismos procariotas como eucariotas, pero sólo en bajas densidades celulares. Las saponinas no inhibieron el crecimiento microbiano de poblaciones densas. Extractos de semillas de quínoas procedentes de Chile han mostrado efecto antibacteriano (Miranda et al., 2014).

#### 1.3.5 Citotoxicidad y actividad antitumoral.

Numerosos informes resaltan las propiedades altamente citotóxicas de muchas saponinas (Musende et al. 2009; Hombre et al. 2010). En particular, los oleananos demuestran un efecto antitumoral a través de distintas vías, tales como anticancerígenos, anti-metástasis, inmunoestimulación, quimioprevención, y así sucesivamente. Los mecanismos detallados son complejos, pero involucran la desfosforilación de Stat3 en una variedad de líneas de células tumorales humanas y llevan a una disminución en la actividad transcripcional de Stat3, que regula proteínas como c-myc, ciclina D1, Bcl2, survivina y VEGF. Más aún, se han informado varias actividades inmunoestimulantes, tales como el crecimiento inducido de linfocitos T humanos, promover la apoptosis y desencadenar la muerte de células autofágicas. Mientras tanto, disminuyen la actividad respiratoria e inducen el eflujo de ATP tras la inhibición del canal aniónico dependiente de voltaje en la membrana mitocondrial externa.

## 2. Eliminación de saponinas.

Las saponinas suelen ser amargas, así que deben

ser eliminadas de la quinua antes de su consumo. Tradicionalmente, las semillas de quinua son desgastadas mecánicamente para retirar el salvado, donde se sitúan predominantemente las saponinas, y/o son lavadas con agua para quitar amargura antes de su uso. Durante los procesos de lavado para eliminar las saponinas amargas, Wright et al. (2002) informan que también se pierden valiosos nutrientes y se puede cambiar la composición química y el perfil de los aminoácidos de las semillas de quinua. El nivel final del contenido de saponinas en semillas de quinua para consumo sigue siendo una gran preocupación en términos de su amargura y posibles efectos biológicos negativos.

### 2.1 Cinética.

La eliminación de saponinas de las semillas de quinua durante un proceso de lavado con agua puede ser descrito en función de las reglas imperantes de la extracción sólido-líquida, y aplicando modelos matemáticos comúnmente usados para evaluar la cinética de procesos.

La concentración de saponina total dentro de las semillas de quinua rápidamente tiende a un valor asintótico después de una lixiviación inicial. Fuentes et al. (2013) demuestran que este valor asintótico disminuye con un aumento en la temperatura de lavado.

La proporción de saponinas (SR, del inglés Saponin Ratio) definido según la ecuación 1 es el parámetro más utilizado para modelar la cinética de la lixiviación de saponinas de las semillas de quinua. SR representa una concentración adimensional utilizada para estudiar la cinética de lixiviación, suponiendo un mecanismo de difusión dentro del sólido y una transferencia de masa externa insignificante bajo condiciones de intensa remoción.

$$SR = \frac{X_{st} - X_{se}}{X_{s0} - X_{se}} \quad \text{Ec.1}$$

donde  $X_{st}$  es el contenido de saponina en tiempo real ( $\text{g}/100 \text{ g}_{\text{dm}}$ ),  $X_{s0}$  y  $X_{se}$  son los contenidos de saponina inicial y residual. A continuación, el cuadro 2, representa las ecuaciones más comunes utilizadas para modelar SR en la eliminación de saponinas.



**Cuadro 2:** Modelos matemáticos seleccionados para describir la cinética de lixiviación de saponinas.

Modelo	Ecuación	Referencia
Midilli-Kuçuk	$SE = n_{11} \exp(-k_{12} t^{n_{12}}) + Ct$	Vega-Gálvez et al. (2011)
Weibull	$SR = \exp(-(\frac{t}{\beta})^\alpha)$	Corzo et al. (2008)
Logarítmico	$SR = C + n_5 \exp(-k_6 t)$	Akpinar (2006)
Henderson-Pabis (Modificado)	$SR = n_8 \exp(-k_9 t) + n_9 \exp(-k_{10} t) + n_{10} \exp(k_{11} t)$	Sacilik & Elicin (2006)
Dos términos	$SR = n_6 \exp(-k_7 t) + n_7 + n_7 \exp(k_8 t)$	Lahtasni et al. (2004)
Page (modificado)	$SR = \exp(-k_3 t^{n_2})$	Tog̃rul & Pehlivan (2003)

## 2.2 Usos de las saponinas.

Las saponinas son explotadas por la industria como aditivos para alimentos y cosméticos. Potencialmente, pueden ser utilizadas para otras aplicaciones industriales (Yang *et al.* 2010; Chen *et al.* 2010; Price *et al.*, 1987; Hostettmann y Marston, 1995) como, por ejemplo, conservantes, modificadores del sabor, detergentes (debido a sus propiedades químicas y su capacidad como agentes espumantes) y agentes para eliminar el colesterol de productos lácteos.

Notablemente, las saponinas también pueden activar el sistema inmune mamífero, lo que ha conllevado a un importante interés en su potencial como adyuvantes de vacunas. Su capacidad única para estimular tanto la respuesta inmune Th1 y la producción de linfocitos T citotóxicos (LTCs) frente a antígenos exógenos las hace ideales para su uso en vacunas de subunidades y vacunas dirigidas contra patógenos intracelulares, además de para vacunas terapéuticas contra el cáncer.

## 3. Contenido de saponinas en la quinua.

### 3.1 Métodos analíticos.

Varios métodos analíticos han sido desarrollados para la determinación de saponinas de diversas matrices, incluyendo las semillas de quinua. Los métodos más sencillos prevén la detección de algunas características típicas de las saponinas, como su capacidad de formar espuma o su

capacidad hemolítica. Los métodos más utilizados, sin embargo, son cromatográficos. Se ha usado tanto la cromatografía líquida (con detección por espectrometría de masas, DAD, y ELSD) como la cromatografía de gases (con detección por espectrometría de masas y FID). La cromatografía de gases ha sido ampliamente utilizada, a pesar de requerir un protocolo de extracción más largo y una delicada reacción de sinalización. Los primeros trabajos incluidos en una determinación por cromatografía de gases fueron los de Ridout *et al.* (1991) y Price *et al.* (1986). En la cromatografía de gases, las saponinas generalmente son extraídas después de la hidrólisis ácida de la muestra degreasada con un solvente apolar; luego de la sinalización el extracto es analizado con columnas no-polares o ligeramente polares y eluido a altas temperaturas. El análisis en HPLC, en su lugar, proporciona una preparación más simple que consiste en la extracción con alcoholes y purificación con una SPE C18. La separación suele lograrse con fases estacionarias C18 y eluciones en gradiente de agua-acetonitrilo, tanto para la detección fotométrica (DAD, ELSD) y espectrometría de masas.

### 3.2 Evaluación de saponinas en ecotipos chilenos de quinua.

#### 3.2.1 Ecotipos presentes en las regiones agroecológicas chilenas de quinua.

Se describen cinco ecotipos de quinua para la región andina. Estas proceden de los valles inter-andinos

de Colombia, Ecuador, y Perú, quinua del altiplano de Perú y Bolivia, quinuas de Yungas en el bosque subtropical boliviano, quinuas de salares en Bolivia, Chile y Argentina, y quinuas costeras o del nivel del mar (Chile). Sus orígenes y posibles rutas de expansión han sido revisadas por Fuentes *et al.* (2012). De los ecotipos en Chile hemos encontrado sólo dos (de los salares y costeros). Sin embargo, dentro de estos dos ecotipos se encuentran muchas variedades criollas o variedades de agricultores locales a lo largo del país. En el Altiplano, a 4 mil metros de altura (y 19°S), los agricultores tienen por lo menos doce de estas variedades criollas (Alfonso 2008; Alfonso & Bazile 2009). Estas variedades criollas son conocidas por los *Aymara* locales con nombres como Pandela (semillas rojas), Jankú (semillas blancas), Churi (semillas amarillas), Chullpe (semillas marrones), Khánchi (semillas rosado oscuro), Chalé (colores mixtos). En el centro (34°S) y sur (39°S) de Chile las variedades criollas parecen menos abundantes debido a la menor diversidad de colores de las semillas, siendo en su mayoría blanquecinas, amarillentas, beige, y grises, con esta última siendo más abundante en latitudes meridionales (39°S), como también se observa en las colecciones de los bancos de semillas utilizados para comprobar rendimientos relativos (Martínez *et al.* 2007).

En estas tres regiones, encontramos las condiciones climáticas más estresantes en la región andina alta del norte de Chile, donde llueve 100-200 mm/año (Lanino 2006), mientras que en el centro y sur de Chile llueve más de 400 mm/año (Miranda *et al.* 2013).

### 3.2.2 Contenido de saponinas.

El contenido total de saponinas evaluado en las semillas enteras de las variedades criollas de Chile y en una variedad híbrida (*Regalona*) ha demostrado valores sobre el 1%. Por lo tanto, son todas amargas (es decir, saponinas > 0.11%) pero con importantes diferencias entre ellas. Inesperadamente, las variedades criollas *Salares* de los altos Andes no siempre contienen valores más altos de saponinas (2%). Aquellas de Chile central tienen los valores más altos, llegando incluso al 4% (Miranda *et al.* 2012). Cuando las semillas son sembradas en una localidad diferente, especialmente al ser cultivadas bajo las condiciones más secas del Chile árido (a 30°S sin precipitaciones entre Octubre y Mayo), las semillas cosechadas aumentaron su contenido de saponinas,

por lo menos en el híbrido *Regalona*, de 2.2% a 3.2%. Sin embargo, no se observó este fenómeno en otra variedad criolla de Villarrica, en el sur de Chile. Esta mantuvo su contenido de saponinas entre 2.11% y 2.38% al ser cultivada en el árido norte de Chile (Miranda *et al.* 2013). El contenido más alto de saponinas en variedades criollas de Chile central puede deberse a las condiciones particulares de estrés de la alta salinidad de algunos suelos costeros. Estos suelos a veces son irrigados naturalmente durante la época de invierno con aguas salobres de los ríos vecinos bajo la influencia de las mareas altas del Océano Pacífico (Orsini *et al.* 2011).

### 3.2.3 Conclusiones en el caso chileno.

1. El contenido de saponinas ha sido estudiado hasta el momento a partir de variedades criollas chilenas de quinua pertenecientes a los ecotipos de los salares y costeros andinos. Estos contenidos de saponinas son altos (>2%), respecto a algunas quinuas dulces del altiplano (<0.11%).
2. Inesperadamente, el contenido de saponinas es más alto en las variedades costeras de Chile central.
3. Algunas semillas de quinua cambian su contenido de saponinas al cultivarse en distintas condiciones, generalmente aumentando sus valores al cultivarse en un clima más estresante (sequía).

### 3.3 Actividad de investigación italiana.

A partir del 2006, se han llevado a cabo distintas pruebas en terreno en ISAFoM-CNR para probar los cultivos de quinua. El objetivo estratégico de estos estudios ha sido evaluar las respuestas cuantitativas y cualitativas de las accesiones de quinua bajo condiciones de estrés abiótico combinado (estrés por sequía y sal) y su adaptabilidad al ambiente Mediterráneo del sur de Italia (ver capítulo sobre Italia en este libro); mejorar la producción de alimentos al introducir la quinua como un posible cultivo alternativo para el área (potencial cultivo comercial de alto valor alimenticio) y revisar las oportunidades de utilizar las semillas, harinas de quinua y sus derivados en líneas de productos para niños y para personas con enfermedad celíaca, posiblemente abriendo interesantes perspectivas para el crecimiento incluso en segmentos especializados.

En la estación experimental del Consejo Nacional

de Investigación (CNR) - Instituto para los Sistemas Agrícolas y Forestales en el Mediterráneo (ISAFoM) en Vitulazio (CE) (14°50' E y 40°07' N; 25 m sobre el nivel del mar), se ha llevado a cabo una prueba en terreno de dos años (2006-2007) para comparar dos genotipos de quinua: Titicaca (KVLQ52) y Regalona Baer (RB), bajo condiciones de secano (Pulvento *et al.*, 2010). También se han realizado comparaciones entre dos fechas de sembrado (Abril y Mayo) para KVLQ52 (KV<sub>abril</sub> y KV<sub>mayo</sub>). Durante estos años la quinua ha sido estudiada en el marco del proyecto "CO. Al.Ta. II" (Cultivos Alternativos al Tabaco), fundada por la Comunidad Europea (CE), para explorar las posibilidades de diversificación de las áreas tradicionales de cultivo de tabaco en Italia y para evaluar la calidad de las semillas, en particular su contenido de saponinas, en colaboración con el Departamento de Tecnología de los Alimentos (DISTAAM) de la Universidad de Molise.

Los resultados muestran que Abril es la mejor época para sembrar quinua en la región mediterránea (Etiqueta 2). De los dos genotipos, RB registra un mejor crecimiento y productividad, aparentemente siendo más tolerante al estrés abiótico (altas temperaturas asociadas con el estrés hídrico).

En este trabajo se ha llevado a cabo la evaluación cuantitativa/cualitativa de las saponinas. El análisis de cromatografía de gases muestra que las dos variedades de quinua se colocan en una posición intermedia entre el genotipo "dulce" y el genotipo

"amargo". En particular, se ha obtenido el contenido total de saponinas de 238.9 y 213.8 mg/100 g<sub>dm</sub> respectivamente para el genotipo KV<sub>abril</sub> (sembrada en abril) y KV<sub>mayo</sub> (sembrada en mayo). Para el genotipo RB, el contenido de saponinas es de 328 mg/100 g<sub>dm</sub>. Desde un punto de vista cualitativo, también confirmado por datos bibliográficos (Ridout *et al.*, 1991), el ácido oleanólico es el principal componente de las saponinas con un porcentaje de 76-85%. Le sigue la hederagenina con 10-18%, y la fitolacagenina con 4-5%. Ya que las saponinas están ubicadas principalmente en las capas exteriores de la semilla, estos componentes han sido eliminados por medio del proceso de perlado. El proceso fue llevado a cabo utilizando un perlador de laboratorio (molino de pruebas modelo TM-05-Takayama) con un rodillo abrasivo (40P). Mediante el análisis de cromatografía de gases fue observado que con un grado de perlado del 20%, hubo una reducción del 50% de las saponinas totales en comparación con el valor inicial para el producto. Sin embargo, el producto obtenido aun contuvo una cantidad de saponinas detectables a nivel sensorial. La aplicación de un grado de perlado de 30% redujo el contenido de saponinas por aproximadamente 80% del valor inicial. De hecho, los valores de las saponinas pasaron de 238.9 mg/100 g<sub>dm</sub> a 33.47 mg/100 g<sub>dm</sub> en el producto perlado (Etiqueta 4). El contenido relativo de ceniza, proteína y lípidos en Titicaca es mayor después de la abrasión del pericarpio que antes de ella. En particular, el ácido graso omega linoleico es muy alto en las semillas y harina Titicaca.

**Cuadro 3:** Contenido de saponinas (mg/100 g<sub>dm</sub>) en las dos accesiones (Tabla en inglés)  
Accesión, Saponina total mg 100g<sup>-1</sup> de peso seco, Acido oleanolico, Hederagenina % de saponina total, Fitolacagenina.

Accession	Total saponin <i>mg 100 g<sup>-1</sup> of DW</i>	Oleanolic ac.	Hederagenin <i>% of total saponin</i>	Phytolaccagenin
KV <sub>april</sub>	238.9 ± 10.87	78.2	16.7	5.1
KV <sub>may</sub>	213.8 ± 7.52	76.3	18.9	4.8
RB	329.0 ± 6.78	85.3	10	4.7

Accesión, Saponina total mg 100g<sup>-1</sup> de peso seco, Acido oleanolico, Hederagenina % de saponina total, Fitolacagenina.

La abrasión de las semillas también tiende a aumentar el contenido relativo de los ácidos grasos oleico, linoleico, y palmítico en Titicaca.

Desde el 2008 al 2013 ISAFoM-CNR ha participado como socio en el proyecto de la UE “Uso Sustentable del Agua Asegurando la Producción de Alimentos en Áreas Secas de la Región Mediterránea” (SWUP-MED).

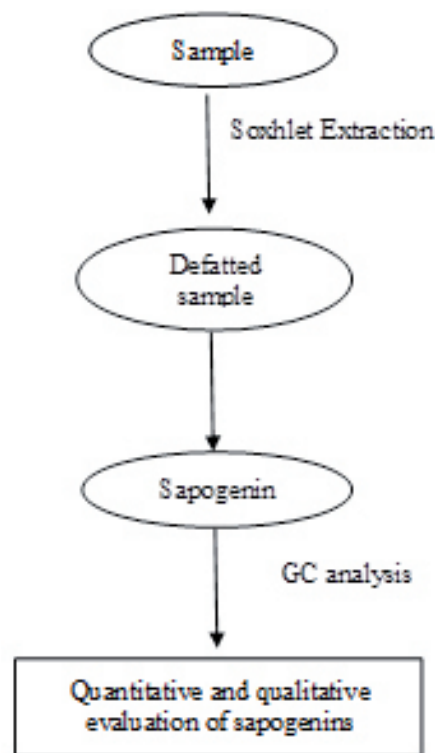
El genotipo de quinua Q52 (Titicaca) ha sido cultivado en un ensayo de campo abierto en 2009 y 2010 para investigar los efectos del estrés salino e hídrico en los aspectos cuantitativos y cualitativos del rendimiento. Se han comparado tratamientos irrigados con agua de pozo (Q100, Q50, y Q25) y tratamientos correspondientes irrigados con agua salina (Q100S, Q50S, Y Q25S) con una conductividad eléctrica (ECw) de 22 dS m<sup>-1</sup>.

El estrés hídrico y salino en ambos años no provocó una reducción significativa del rendimiento, por lo que la quinua puede definirse como tolerante a la salinidad y la sequía (Pulvento *et al.*, 2012).

La composición química de las semillas de quinua confirma un contenido más alto de proteínas y fibra en comparación con los cereales comunes, mientras que el nivel más alto de agua salina determina un peso promedio de la semilla más alto y, como consecuencia, el contenido total de saponinas y fibra en las semillas de quinua. Se ha observado que la irrigación con un 25% de la completa restitución de agua, con y sin la adición de sal, se asocia con un aumento en los compuestos fenólicos libres del 23.16% y 26.27% respectivamente. Por el contrario, los compuestos fenólicos ligados no se ven afectados por el estrés ambiental.

Se han analizado los efectos de las diferentes variables agronómicas, como el riego y salinidad, en los perfiles de saponinas de la quinua.

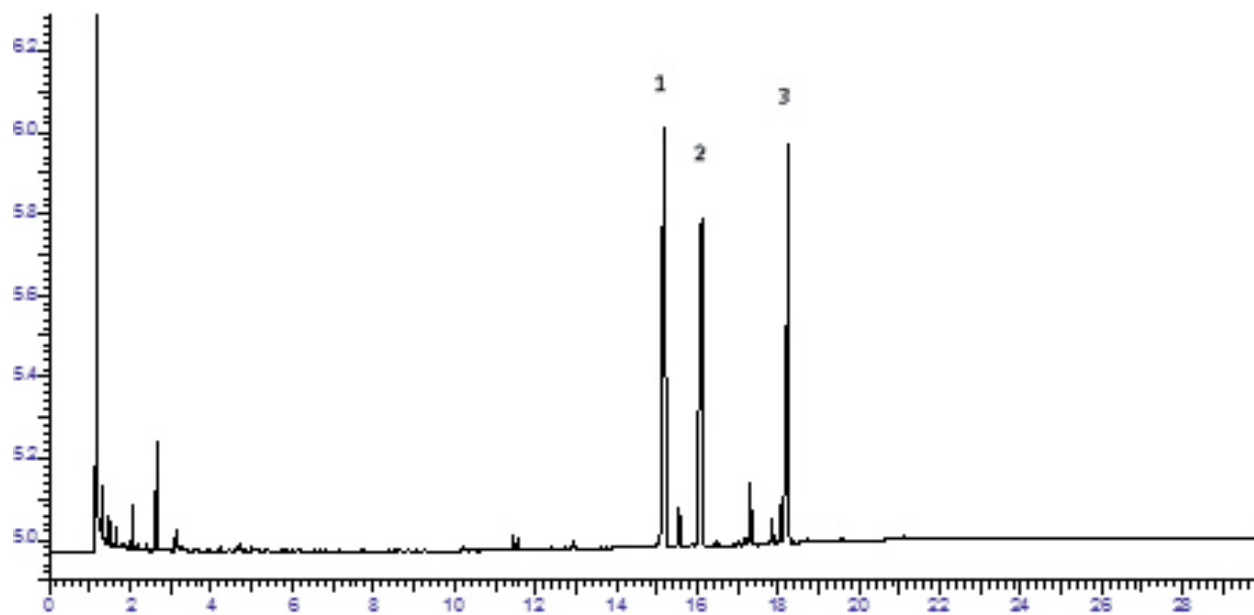
Las saponinas han sido evaluadas en términos de las sapogeninas (Gomez-Caravaca *et al.*, 2012; Lavini *et al.*, 2011) (Figura 2).



**Figura 2:** Diagrama esquemático para la extracción de saponinas (Letras en inglés)

Un procedimiento de cromatografía de gases ha sido aplicado a la evaluación de agliconas saponinas (sapogeninas) derivadas de la hidrólisis ácida de muestras (Ridout *et al.* 1991; Woldemichael, y Wink, 2001). Se han identificado tres principales agliconas de saponinas: ácido oleanólico (36-50% total), hederagenina (27-28%) y ácido fitolacagénico (21-36%) (Figura 3).





**Figura 3:** Cromatograma GC de la saponina de Titicaca (1 ácido oleanólico, 2 hederagenina, 3 ácido fitolacagénico).

Al considerar la cantidad total de saponinas (Etiqueta 5), se ha observado que Titicaca es una variedad amarga. De hecho, las semillas de quinua con una concentración de saponinas  $> 0.11\%$  generalmente son consideradas genotipos amargos (Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

Los valores más altos de saponinas han sido observados en muestras obtenidas sin tratamientos de déficit de irrigación ( $1633.3 \text{ mg}/100 \text{ g}_{\text{dm}}$  para Q100S y  $1140.1 \text{ mg}/100 \text{ g}_{\text{dm}}$  para Q100, respectivamente). Las muestras tratadas con déficit hídrico (Q25 y Q50) han mostrado una disminución en el contenido de saponina en comparación con Q100. Las muestras Q50, comparadas con las Q100, han mostrado una disminución de las saponinas del 32%, mientras que las muestras cultivadas con un déficit de riego (Q25) han mostrado una disminución de las saponinas del 45%. Estos resultados están de acuerdo con el estudio publicado por Soliz-Guerrero *et al.* (2002), quienes informan que el contenido de saponinas se ve afectado por un déficit de agua del suelo, en la medida que altos déficits hídricos promueven bajos contenidos de saponinas. Las muestras tratadas con agua salina también muestran diferencias importantes a diferentes niveles de irrigación (Q100S, Q50S, y Q25S); la disminución de la saponina en las muestras Q50S y Q25S es muy alta comparada con Q100S (40% y

42% para Q25S y Q50S, respectivamente).

Desde el 2011 hasta el 2013 se han llevado a cabo otros ensayos de campo en Vitulazio con cultivos de quinua, y otras están en curso en ISAFoM dentro del proyecto "CISIA", fundado por el Consejo Nacional de Investigación, y el proyecto "Quinua felix" - Introducción de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en la región de Campania para la producción de alimentos de alto valor nutricional y funcional, en colaboración con la Universidad de Molise y CNR- Instituto de las Ciencias de los Alimentos (ISA) de Avellino. El objetivo de estas actividades es evaluar el rendimiento y calidad de las semillas de variedades de *Chenopodium quinoa* cultivadas bajo condiciones de secano en el sur de Italia y el impacto del perlado sobre el rendimiento de proteínas, cenizas, lípidos y saponinas de la semilla.

Todos los análisis han sido llevados a cabo en semillas enteras y en granos "perlados", después de retirar el pericarpio, para definir las potenciales características nutricionales de cada variedad de quinua. Ya que no hay recursos genéticos de una variedad domesticada de quinua en Italia, los estudios se realizan utilizando semillas recibidas de instituciones extranjeras y de orígenes diferentes. Estamos probando los cultivares de quinua daneses Puno y Titicaca, seleccionados de material originario

del sur de Chile proporcionado por la Universidad de Copenhague; cuatro cultivares bolivianos: “Kurmi”, “Janca grano”, “Blanquita”, y “Real”; el “Amarilla de Marangani” peruano, y el cultivar “Jujuy rosada” originado en Argentina. Los cultivares daneses Titicaca y Puno dan el mayor rendimiento mientras que los cultivares Janca grano, Real y Kurmi muestran los rendimientos más bajos, y Blanquita no produce bajo condiciones mediterráneas.

Se han analizado las 7 agliconas conocidas. La variedad Jujuy Rosada ha demostrado ser la más rica en saponinas, con un valor de 4.99%, mientras que la Real es la más pobre con tan sólo un 0.1%. A pesar de que los perfiles de concentración de las 7 agliconas es muy diferente entre las distintas variedades, en particular en la variedad Jujuy rosada, 72.5% de las saponinas contienen ácido 3 $\beta$ -hidroxi-23-oxo-olean-12-en-28-oico como aglicona, mientras que en la variedad Real el ácido oleanólico es la aglicona más representada, pero sólo con 24.80%, lo que demuestra una distribución más homogénea de las 7 agliconas. Sin embargo, el ácido 3 $\beta$ ,23,30-trihidroxi olean-12-en-28-oico es la aglicona menos representada en todas las variedades estudiadas.

#### 4. Conclusión y Perspectivas.

Las saponinas presentan tanto un obstáculo como una oportunidad. El despliegue y uso de muchos cultivos andinos como alimento, y especialmente la quinua, se ven obstaculizados por la presencia de estos elementos anti-nutricionales, tanto por la deterioración de la palatabilidad debido a su sabor amargo, como especialmente por los serios efectos que pueden tener en la salud humana. Por otro lado, estas moléculas están resultando muy interesantes en varios campos, desde la farmacéutica, como la base para el desarrollo de nuevas drogas contra el cáncer o nuevos antifúngicos o adyuvantes en vacunas, hasta la química, pero especialmente en el campo de la agronomía, donde han demostrado

ser excelentes y versátiles insecticidas. La actividad insecticida de las saponinas se basa en tres mecanismos distintos (Chaieb, 2010): interferencia con la conducta de alimentación, entomotoxicidad (diversas formas de toxicidad crónica, tales como reducción de la fertilidad en hembras y reducción de la tasa de eclosión de huevos, observables en muchas especies de insectos) y regulación del crecimiento (las investigaciones demuestran que las saponinas son capaces de regular el crecimiento de muchas especies de insectos). El efecto de las saponinas generalmente se caracteriza por la perturbación de las etapas de desarrollo, duración, e interrupción de la muda. Sin embargo, aún hay varios problemas por resolver sobre el uso de saponinas, en particular: problemas de estabilidad, porque la mayor parte de la actividad insecticida se debe a las cadenas laterales de azúcares que son muy susceptibles a los valores de pH y actividad enzimática, problemas respecto a la aplicación, problemas relacionados con la acción de saponinas residuales como un factor antinutricional, y finalmente, problemas relacionados con su difícil síntesis. Este último podría resolverse por medio de protocolos de extracción desde variedades que producen grandes cantidades de saponinas o que son cultivadas en condiciones que generan mayores cantidades (buen suministro de agua y alta salinidad del suelo). Por contraste, el conocimiento de los efectos edafoclimáticos en el contenido de saponinas puede permitir el desarrollo de variedades que requieran tratamientos agronómicos sostenibles para eliminar estos peligrosos agentes antinutricionales.

## Referencias.

- Alfonso D (2008). La gestion de la biodiversité par les paysans: Le quinoa au Chili. Thesis Master 2, Spécialité Recherche: Innovations et Développement des Territoires Ruraux. *SupAgro-IAMM-UMIIR-CIRAD*, Montpellier-Francia.
- Alfonso D & Bazile D (2009). La quinoa como parte de los sistemas agrícolas en Chile: 3 regiones y 3 sistemas. *Revista geográfica de Valparaíso*, 42, 61-72.
- Augustin JM, Kusina V, Anderson SB & Bak, S (2011). Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins. *Phytochemistry* 72, 435–457.
- Bader G, Seibold M, Tintelnot K, Hiller K (2000) Cytotoxicity of triterpenoid saponins. Part 2: Relationships between the structures of glycosides of polygalacic acid and their activities against pathogenic *Candida* species. *Pharmazie*. Enero;55(1):72-4.
- Baumann E, Stoya G, Völkner A, Richter W, Lemke C, Linss W (2000). Hemolysis of human erythrocytes with saponin affects the membrane structure. *Acta Histochemica* Feb;102(1):21-35.
- Chaieb I (2010) Saponins as Insecticides: a Review. *Tunisian Journal of Plant Protection* Vol. 5, No. 1, 2010
- Chen YF, Yang CH, Chang MS, Ciou YP & Huang YC (2010). Foam Properties and detergent abilities of the saponins from *Camellia oleifera*. *International Journal of Molecular Sciences*. 11(11), 4417–4425.
- Flores-Sanchez IJ, Ortega-Lopez J, del Carmen Montes-Horcasitas M, Ramos-Valdivia AC (2002). Biosynthesis of sterols and triterpenes in cell suspension cultures of *Uncaria tomentosa*. *Plant Cell Physiology*. 43, 1502–1509.
- Francis G, Kerem Z, Makkar HP, Becker K, (2002). The biological action of saponins in animal systems: a review. *British Journal of Nutrition* 2002 Dec;88(6):587-605.
- Fuentes IQ, Vega-Gálvarez A, Miranda M, Lemus-Mondaca R, Lozano M & Hen AK (2013). A kinetic approach to saponin extraction during washing of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed. *Journal of Food Process Engineering* 36 (2013) 202–210
- Fuentes F., Bazile D., Bhargava A., Martinez E.A. 2012. Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science*, 150 (6) : 702-716.
- Fuentes-Bazan S, Mansion G, Borsch T (2012) Towards a species level tree of the globally diverse genus *Chenopodium* (Chenopodiaceae) *Molecular Phylogenetics and Evolution*, Volumen 62, Numero 1, Enero 2012, Paginas 359-374
- Gómez-Caravaca A, Iafelice G, Lavini A, Pulvento C, Caboni C, & Marconi E (2012). Phenolic Compounds and Saponins in Quinoa Samples (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown under Different Saline and Non saline Irrigation Regimens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2012 60 (18), 4620-4627
- Hostettmann KA and Marston A (1995). Saponins. Chemistry and pharmacology of natural products. *Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido*.
- Kalinowska M, Zimowski J, Pańczkowski C, Wojciechowski ZA (2005). The formation of sugar chains in triterpenoid saponins and glycoalkaloids. *Phytochemistry*. Rev. 4, 237–257.
- Khalil AH & El-Adawy TA (1994). Isolation, identification and toxicity of saponin from different legumes. *Food Chemistry* 50, 197–201.
- Killeen GF, Madigan CA, Connolly CR, Walsh GA, Clark C, Hynes, MJ, Timmins BF, James P, Headon DR & Power, RF (1998). Antimicrobial saponins of *Yucca schidigera* and the implications of their in vitro properties for their in vivo impact. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46, 3178–3186.
- Kim SY, Son KH, Chang HW, Kang SS, Kim HP 1999 Inhibition of mouse ear edema by steroidal and triterpenoid saponins. *Archives of Pharmacal Research*. 1999 Jun;22(3):313-6.
- Kuljanabhagavad T, Thongpasuk P, Chamulitrat W & Wink M. (2008). Triterpene saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. *Phytochemistry* 69, 1919–1926.

- Lanino M (2006) Características Climáticas de Ancovinto durante 2005 a 2006. *Boletín Técnico FIA-UNAP-CODECITE*, pp. 1–3. Iquique, Chile.
- Lavini A, Pulvento C, Riccardi M, d'Andria R, Iafelice G, Marconi E, Gómez-Caravaca AM, Caboni MF (2011). Caratteristiche qualitative e produttive di una coltura di nuova introduzione nell'ambiente mediterraneo (*Chenopodium quinoa* Willd.) sottoposta a stress idrico e salino. 8° AISTEC Congress, Catania, 11-13 Maggio 2011;
- Lee, MH, Jeong JH, Seo JW, Shin CG, Kim YS, In JG, Yang DC, Yi JS, Choi YE (2004). Enhanced triterpene and phytosterol biosynthesis in *Panax ginseng* overexpressing squalene synthase gene. *Plant Cell Physiology* 45, 976–984.
- Man S, Gao W, Zhang Y, Huang L & Liu C (2010). Chemical study and medical application of saponins as anti-cancer agents. *Fitoterapia* 81, 703–714.
- Martínez EA, Delatorre J & Von Baer I (2007) Quínoa: las potencialidades de un cultivo sub-utilizado en Chile. *Tierra Adentro* (INIA) 75, 24-27.
- Miranda M, Vega-Gálvez A, Quispe-Fuentes I, Rodríguez MJ, Maureira H, Martínez EA (2012). Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. *Chilean journal of agricultural research* 72(2):175-181
- Miranda M, Vega-Gálvez A, Martínez EA, Lopez J, Marin R, Aranda M, Fuentes, F (2013) Influence of contrasting environments on seed composition of two quinoa genotypes: nutritional and functional properties. *Chilean Journal of Agronomical Research* 73(2):108-116.
- Miranda M, Delatorre-Herrera J, Vega-Gálvez A, Jorquera E, Quispe-Fuentes I, Martínez EA (2014). Antimicrobial potential and phytochemical content of six diverse sources of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Agricultural Sciences* (accepted).
- Musende AG, Eberding A, Wood C, Adomat H, Fazli L, Hurtado-Call, A, Jia W, Bally MB & Guns ET (2009). Pre-clinical evaluation of Rh2 in PC-3 human xenograft model for prostate cancer *in vivo*: Formulation, pharmacokinetics, biodistribution and efficacy. *Cancer Chemotherapy Pharmacology*. 64, 1085–1095.
- Orsini F, Accorsi M, Gianquinto G, Dinelli G, Antognoni F, Ruiz-Carrasco KB, Martínez EA, Alnayef M, Marotti I, Bosi S & Biondi S (2011). Beyond the ionic and osmotic response to salinity in *Chenopodium quinoa*: functional elements of successful halophytism. *Functional Plant Biology* 38:818-831.
- Price KR, Curl CL, Fenwick GR, 1986. The saponin content and sapogenol composition of the seed of 13 varieties of legume. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 37(12), 1185-1191.
- Price KR, Johnson IT & Fenwick GR, (1987). The chemistry and biological significance of saponins in food and feeding stuffs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 26, 27-1331.
- Pulvento C, Riccardi M, Lavini A, d'Andria R, Iafelice G & Marconi R (2010). Field trial evaluation of two *Chenopodium quinoa*'s genotypes grown in rainfed conditions in a Mediterranean environment of south Italy. *Journal of agronomy and crop science* 197, 407-411;
- Pulvento C, Riccardi M, Lavini A, Iafelice G, Marconi R, & d'Andria R (2012). Yield and quality characteristics of *Chenopodium quinoa* Willd. grown in open field under different saline and not saline irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 198 (4), 254-263
- Ridout CL, Price KR, Du Pont MS, Parker ML, Fenwick GR (1991). Quinoa saponins-Analysis and preliminary investigations into the effects of reduction by processing. *Journal of Science Food and Agriculture*, 54, 165-176.
- Soliz-Guerrero JB, Jasso de Rodriguez, D, Rodriguez-Garcia R, Angulo-Sanchez JL, Mendez-Padilla G (2002). Quinoa saponins: concentration and composition analysis. In *Trend in New Crops and New Uses*. Janock, J., Whipkey, A., Eds.; ASHA Press, Alexandria, VA, 110-114.
- Sparg SG, Light ME & Van Staden J (2004). Biological activities and distribution of plant saponins. *Journal of Ethnopharmacology* 94, 219–243.



Stuardo M y San Martín R (2008). Antifungal properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) alkali treated saponins against *Botrytis cinerea*. *Industrial Crops and Products*, 27, 296–302.

Sun, HX, Xie Y & Ye Y (2009). Advances in saponin-based adjuvants. *Vaccine* 27, 1787–1796.

Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Martínez EA (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of Science Food and Agriculture*, 90, 2541–2547.

Wang Y, Zhang Y, Zhub Z, Zhuc S, Lic Y, Lia M & Yua B (2007). Exploration of the correlation between the structure, hemolytic activity, and cytotoxicity of steroid saponins. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 15, 2528–2532.

Woldemichael GM, Wink M (2001). Identification and biological activities of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. May;49(5):2327–32.

Wright KH, Pike OA, Fairbanks DJ & Huber CS (2002). Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *Journal of Food Science*. 67, 1383–1386.

Yang CH, Huang YG, Chen YF & Chang MH (2010). Foam Properties, Detergent Abilities and Long-term Preservative Efficacy of the Saponins from *Sapindus mukorossi*. *Journal of Food Drug Analysis*. 18-3, 155–160.

## CAPÍTULO: 3.4

# TÍTULO: QUINUA: ASPECTOS NUTRICIONALES DEL ARROZ DE LOS INCAS

\*Autor para correspondencia: Enrique A. MARTÍNEZ <[enrique.a.martínez@ceaza.cl](mailto:enrique.a.martínez@ceaza.cl)>

ENRIQUE A MARTÍNEZ\* Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, CEAZA, La Serena, Chile

## Resumen

El arroz de los Incas, es uno de los nombres dados a la quinua. En cada gran región del mundo se ha originado algún tipo de grano básico para consumo humano. El menos conocido y menos expandido masivamente es la quinua. El más expandido es precisamente el arroz, de origen asiático. Éste se cultiva casi en todo el mundo. Los granos de quinua y de arroz poseen efectivamente un tipo de consumo humano (y hábitos culinarios asociados) que son muy similares. Por otro lado ambos granos pueden decortarse antes de su consumo, mediante el uso de máquinas. Ambos no poseen gluten. Sin embargo la quinua posee ventajas que han sido poco aprovechadas para una mayor expansión de su consumo y de su cultivo. Por un lado al pelar el arroz se pierde gran parte de sus proteínas y otros elementos asociados al salvado. Sin embargo, la quinua, al poseer la estructura de las semillas Amarantáceas casi no pierde sus cualidades nutricionales con el pelado en seco y/o lavado. Además la quinua se cultiva con mucho menos agua que los cereales permitiendo un rendimiento mayor, particularmente de producción de proteínas en función de la demanda hídrica. Esta adaptabilidad a la aridez es otra de las razones esgrimidas por la FAO para fomentar la valorización de este cultivo. Nuevos estudios hacen falta para determinar con mayor precisión la asimilación efectiva de sus ricos contenidos proteicos, minerales, vitamínicos, de aceites de alta calidad, flavonoides. Finalmente, el pelado de la quinua produce saponinas, desecho de

un gran potencial de usos altamente valorizables, incluso para control de plagas de caracoles que atacan los arrozales. La lucha contra el hambre y contra la malnutrición, dos grandes flagelos de los mundos opuestos (aquel del subdesarrollo y también del desarrollado) tiene en la quinua una valiosa aliada.

## 1. Introducción.

El arroz de los Incas es uno de los nombres dados a la quinua y ha sido elegido en este capítulo por varias razones. Hay un conocimiento ancestral que asigna a cada gran región del mundo un tipo de alimento básico. Por ejemplo el arroz en los países del gran continente asiático, el maíz en América Central, el trigo en la antigua Mesopotamia, el Sorgo y el Mijo en África. De este modo cada gran zona del planeta queda cubierta con granos (Cuadro 1) que hoy algunos más que otros se han expandido como agro-culturas adquiridas en diferentes continentes (ver revisión de Bazile 2012). De este modo llega el maíz a Europa y el trigo a América durante los viajes y colonizaciones entre continentes. La quinua no es un grano escogido por los colonizadores como de importancia. Al contrario es rechazado y sólo sobrevive a la colonización en lugares apartados por la altitud o por el aislamiento geográfico (Fuentes *et al.* 2012). Su valor nutritivo se ha ido re-descubriendo gracias a la ciencia que ha ido aportando en forma acumulativa nuevos méritos nutricionales a este grano que hoy la FAO declara como de gran aporte a la nutrición y a la agricultura mundial.

**Cuadro 1.** Zonas del planeta y sus respectivos granos originarios.

ZONAS CONTINENTALES	GRANOS DE CONSUMO ORIGINARIOS
América del Norte	Girasol
América Central	Maíz, Porotos
América del Sur	Quinua
Europa	Colza
África del Norte	Avena
África del Centro	Café
África del Sur	Mijo, Sorgo
África del Este	Mijo, Sorgo
África del Oeste	Sorgo
Asia central	Trigo
Asia Oeste	Trigo, Lentejas, Cebada
Asia del Sur y Sudeste	Arroz
Asia del este	Soya

Fuente: Bazile (2012)

El valor nutricional de la quinua ha sido objeto desde los años 90 de revisiones de literatura en parte motivadas desde la misma FAO, comenzando por Tapia (1990, 1992, 2000), luego Ayala *et al.* (2004), y otros estudios y revisiones independientes como las de Galwey (1993), Schilck & Bubenheim (1996) y más recientemente las de Jancurova *et al.* (2009), Vega-Gálvez *et al.* (2010) y Rojas *et al.* (2010). Finalmente el documento de FAO (2011) que sirve de base a la declaración del año 2013 como el año internacional de la quinua. En este mismo documento se indica ya que la quinua posee ensayos de cultivos y producciones comerciales en diferentes regiones del globo, diferentes de América Central o del Sur, como son Norte América, Europa, Asia, África y que su cultivo puede extenderse a otras regiones con climas y fotoperíodos más diferentes de los de su origen, como se indica en esta misma obra, por ejemplo el caso para regiones subsahelianas de climas áridos, muy cálidos, con lluvias concentradas en los meses de verano, con cultivos experimentales en Mali (Coulibaly *et al.* 2013).

Este capítulo, a diferencia de los estudios exhaustivos anteriores sobre sus propiedades nutricionales, que ya fueron enumerados más arriba, describe el valor nutricional de la quinua ante la hipótesis práctica que el nombre dado a la quinua (arroz de los Incas) suscite un uso equivalente en las distintas poblaciones mundiales. Esta elección no es caprichosa y se basa en la realidad urgente que el mundo de hoy enfrenta

ante la evidencia de hambre en niños. Sólo en el cinturón de países al sur del desierto del Sahara había en 2012 más de 1,1 millones de niños menores de 5 años en desnutrición aguda grave (UNICEF 2013). El arroz es uno de los alimentos a base de granos secos más fáciles transportar, almacenar y de consumir, sin mayor transformación que por lo tanto pueden actuar rápidamente como un alimento paliativo en una situación aguda como la descrita, que es necesaria antes de mejorar las variedades locales si el clima físico y el clima político de los países afectados lo permiten. La adaptación y mejoramiento de los cultivos son procesos que toman años. En estas facilidades prácticas el arroz se diferencia de otros granos como el trigo, la avena, el maíz y en ello se parece al sorgo y al mijo. Cuando comparamos la quinua con el arroz, la idea presentada en este capítulo es hacerlo porque su facilidad de uso (cocina), almacenamiento y transporte son similares a los del arroz, siendo entonces su uso potencial mayor al de los otros granos mencionados y con ello puede contribuir más fácilmente a combatir este flagelo del hambre y desnutrición en niños y en sus madres. Por otra parte el otro extremo de la malnutrición, el sobrepeso y la obesidad, han adquirido dimensiones epidémicas en el último cuarto de siglo, en todos los grupos de edad y estratos sociales. La tasa actual de ambas condiciones juntas, entre los menores de 5 años, es 7%; entre los escolares las cifras se sitúan entre 25% y 30%, y en la población adulta, al menos 50% está afectado, mientras que en Estados Unidos,

Chile y México esta es del 70% (Jacoby *et al.* 2014). La calidad nutricional de la quínoa también podría ser un aporte a este flagelo.

## 2. Ventajas prácticas de la quinua en comparación al arroz.

La quinua posee además la ventaja de que frente a los granos mencionados tiene más proteínas (Cuadro 2) y que además los granos de quinua poseen todos los aminoácidos esenciales, siendo el triptófano el menos concentrado. La presencia de los aminoácidos esenciales ha sido confirmada en variedades más desconocidas de quínuas como son las pertenecientes a los ecotipos costeros o de bajas altitudes del centro y sur de Chile (Miranda *et al.* 2012 a). Además de una similitud práctica, culinaria, de transporte y de almacenamiento con el arroz, la quinua ofrece la ventaja de mejor calidad nutricional. Ésta se refiere a la calidad del grano una vez procesado. El mayor consumo de arroz en la mayoría de los países donde éste no es originario es como arroz blanco. Este tipo de arroz se diferencia del arroz integral en que ha sido desmondado o decorticado y éste arroz blanco posee menos proteínas que el arroz integral (Cuadro 3). Sin embargo la quinua, a pesar de que el proceso de pelado y/o lavado para sacar las saponinas de su epicarpo puede ser a menudo necesario (pocas variedades son dulces o sin saponinas) la pérdida de proteínas es significativamente menor que en el proceso de pelado del arroz donde se pierde entre un 16 y 17% de proteínas de alta calidad. Incluso en la quinua al sacar la capa seminal externa, rica en saponinas, fibra, flavonoides y pobre en proteínas, permite al grano consumible ganar aproximadamente un 6% de peso relativo de proteínas (Cuadro 3). Esto es porque la proteína de los cereales como el arroz

se encuentra en el exterior del grano y el proceso de decorticado elimina la mayor parte de esta zona; mientras que en las Amarantáceas y Chenopodiáceas (caso de la quinua), las proteínas están en el embrión mismo, que casi no es removido durante el pelado o lavado del grano (proceso de desaponificado). Con ello aunque arroz y quinua sean procesados con sistemas equivalentes (decorticado) la quinua mantiene sus cualidades culinarias, de transporte y almacenamiento, pero sobre todo la quinua, una vez pelada, queda con mayores propiedades nutricionales que el arroz blanco. Esta ventaja debe ser considerada seriamente por todos los países en que la quinua se considere como un paliativo rápido a condiciones de hambre o desnutrición crónica. Por otra parte como está demostrado el efecto de las condiciones alimentarias prenatales en la sobrevida, en el crecimiento y la salud de los niños, a corto y a largo plazo (Pinho Franco & Nigro 2003, Nauta *et al.* 2013). Por las características excepcionales de la quinua en contenidos comparativos de Calcio, Hierro, vitaminas, aceites de alta calidad (Cuadro 4), es muy importante que en casos de emergencia se use la quinua en reemplazo, al menos parcial, del arroz blanco, sobretodo en madres y niños en riesgo de desnutrición. Y más aún que el uso sea también ampliado a todas las madres cuyos malos hábitos alimentarios durante el embarazo pueden afectar negativamente la salud de sus hijos, también en el largo plazo. Esto lo describen varios estudios cuantitativos, de frecuencia de enfermedades crónicas en distintos grupos para los que se conoce las condiciones alimentarias perinatales, incluso en países desarrollados donde hay seguimientos de largo plazo que correlacionan las condiciones de niños al nacer y su estado de salud al cabo de 20 años (Barker *et al.* 1989, Vieau 2011).

**Cuadro 3.** Proteínas (% en seco) antes y después del proceso de pelado, en quinua y arroz.

Momento del análisis	Arroz†	Quinua*
Antes del pelado (grano integral)	8,4	12,8
Después del Pelado ( grano blanco)	6,7	13,7
Cambio proteico (%)	-16,6	+6,4

†A partir de datos en etiquetas de arroz comercial de la misma marca en comercio orgánico de Aix-en-Provence, Francia (muestreo del autor).

\*Promedio de tres muestras de localidad de Cahuil, Chile central (datos del autor, Proyecto CORFO)



Otra ventaja interesante respecto de la quinua es su menor uso energético al momento de la cocción, especialmente si lo comparamos con el arroz integral. La quinua sólo requiere 15 minutos y además una vez que la olla hierve se corta el calor y se aísla la olla. El resto de calor acumulado termina la cocción del grano y se ahorra energía. Sólo el arroz blanco, de menor calidad nutricional, permite éste tipo de ahorro energético.

### 3. Eficiencia nutricional en relación al uso del agua.

Otra de las razones de la FAO para escoger la quinua como un cultivo modelo, que es de carácter inicialmente no nutricional, tiene fundamentos en su fisiología de adaptación al estrés en particular al uso altamente eficiente del agua (Martínez *et al.* 2009). Si este elemento se tiene en cuenta,

la cantidad de grano obtenido de un cultivo por litro de agua permite otro criterio para comparar y promover el uso de la quinua en un verdadero reemplazo, al menos parcial del arroz. En la Cuadro 2 se indica la huella de uso de agua, es decir la cantidad de granos producidos por kilo de grano. Ahí se puede visualizar que la quinua es un cultivo de alto rendimiento respecto de otros cultivos productores de granos, en función del uso eficiente del agua. Éste aumentaría aún más al considerar no sólo el rendimiento en kilos de grano por hectárea sino el rendimiento de proteínas por kilo. En este sentido la eficiencia de uso del agua de la quinua se transforma también en una alta eficiencia nutricional del cultivo que supera en 10 veces la eficiencia hídrica de producción de proteínas del arroz blanco.

**Cuadro 2.** Huella de uso del agua (litros de agua por kilo de grano) y eficiencia hídrica de la producción de proteínas (g-proteínas en 100g de grano x 1000/huella de agua) para algunos de los granos más usados en la alimentación mundial y su comparación con la quinua.

Tipo de Grano†	Huella de agua (L K <sup>-1</sup> )	Eficiencia hídrica de la producción de proteínas por cada 1000 K de grano (%proteínas x 1000 L-agua <sup>-1</sup> )
Arroz	2497	2,7
Maíz	1222	7,7
Trigo	1227	10,3
Quinua	500*	27,8

\*: Estimada a partir de un estudio de riego deficitario en Chile árido (Martínez *et al.* 2009), asumiendo un rendimiento promedio bajo, de 1000 K/ha, usando como abono sólo humus de lombrices. Para el resto de los cultivos se usa valores de huella hídrica obtenidos de Novo *et al.* (2008) y del sitio web: [www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org)

†: Los valores de proteínas de los cultivos se indican en el cuadro 4 (se usa el del arroz blanco y 13,9% para la quinua).

**Cuadro 4.** Cuadro comparativo de algunas cualidades nutricionales de la quinua, incluyendo proteínas, Vitamina B1 y dos minerales importantes en la alimentación.

Tipo de Grano	Proteínas g en 100g (=%)	Vit B1 (mg 100g <sup>-1</sup> )	Fe (ppm)	Ca (ppm)
Arroz blanco	6,7	0,08	4,6	40
Girasol	22,8	1,9	6,3	38
Maíz	9,4	0,3	25	100
Mijo	11,0	0,3	30	201

<b>Poroto Soja</b>	36,5	0,9	157	2770
<b>Sorgo</b>	11,3	0,34	45	260
<b>Trigo</b>	12,6	0,3	40	360
<b>Quinua*</b>	9-16	0,39	133	1200

\*: Se indica para las proteínas un rango que promedia 13,9 % entre los estudios de González *et al.* (2013) y la revisión de Vega-Gálvez *et al.* (2010). Y para los otros elementos y cultivos se toman valores promedio de Schilck & Bubenheim (1996), Novo *et al.* (2008), Martínez *et al.* (2006), Latham (2002)

#### 4. Efectos antioxidantes y propiedades funcionales de la quinua.

En los estudios más antiguos de los aspectos nutricionales de la quinua aparecían algunos atributos funcionales como la alta calidad de su almidón (Lindeboom 2005, Ahamed *et al.* 1998, Ogunbengle 2003) y bajos contenidos de Glucosa y Fructosa lo que permite que su índice glicémico sea más bajo (Oshodi *et al.* 1999). Esta calidad funcional no impide otra calidad funcional muy importante para hoy que es la capacidad de otorgar mayor saciedad post consumo (Berti *et al.* 2005). Este aspecto es muy importante pues contribuye a alimentarse más sanamente, particularmente ante el aumento de riesgos de enfermedades cardiovasculares y de otras enfermedades no transmisibles en niños que caen o sobrepasan en los límites del sobrepeso y de la obesidad. Esto también ya afecta no sólo a países desarrollados sino también a países emergentes como Chile (Mardones 2009, Jacoby *et al.* 2014). Entre los estudios más recientes de las propiedades funcionales de la quinua está la capacidad antioxidante que se atribuye a la presencia de flavonoides (Zhu *et al.* 2001, Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2010). Estos compuestos se señalan también no sólo como antioxidantes sino como mejoradores de memoria y de procesos cognitivos (Spencer 2010). Muchas de estas propiedades se pierden con procesos que incluyen altas temperaturas como por ejemplo los de extrusión (Brady *et al.* 2007) por lo que éstos no son recomendados, aunque efectos positivos en la salud ya se registran tras la alimentación con barras de cereales que poseen extrusiones de quinua (Dogan & Karwe 2009, Farinazzi-Machado *et al.* 2012). La capacidad antioxidante puede estar dada por un conjunto de factores que además de los flavonoides incluye también a la Vitamina E (Cuadro 4), entre varias otras presentes en la quinua, además de los aceites oleico, linoleico y linolénico

cuyos contenidos fueron revisados por Vega-Gálvez *et al.* (2010). Incluso su vitamina E, de reconocido poder antioxidante y protector de membranas, resiste excepcionalmente bien las condiciones de altas temperaturas que se aplican normalmente en la transformación del grano (Miranda *et al.* 2010).

Finalmente estas capacidades antioxidantes u otras aun desconocidas pueden permitir nuevos usos de la quinua o de sus subproductos que faciliten su introducción como alimento. Se trata por ejemplo del reciente descubrimiento de que junto a las propiedades antioxidantes de las semillas de variedades campesinas chilenas algunas de éstas presentan una capacidad antibacteriana notable contra bacterias patógenas como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* (Miranda *et al.* 2013a). Recientemente esta capacidad antioxidante se ha reconocido también en sus hojas de las cuales se ha obtenido además extractos con poder anti cáncer de próstata (Gawlik-Dziki *et al.* 2013).

#### 5. Efectos del genotipo y del ambiente en la calidad nutricional de la quinua.

Hay estudios que muestran que las mismas variedades de un cultivo como los tomates presentan variaciones en sus propiedades nutricionales e incluso en su bioasimilación si se cultivan en ambientes contrastantes. Es el caso por ejemplo de variedades de tomate que cultivadas en España, en ambientes más áridos, aumentaron sus contenidos de carotenoides y la capacidad de éstos de ser asimilados (Aherne *et al.* 2010). En quinua, estudios recientes de cultivos de las mismas variedades (Bolivianas y Argentinas) en ambientes diferentes muestran también que hay efectos cambiantes en los contenidos de proteínas totales, pero sin bajas sustanciales y con una cierta mantención de los equilibrios entre los distintos aminoácidos (González *et al.* 2012). Para dos variedades chilenas, una variedad híbrida registrada (La Regalona) y otra

campesina (Villarrica) del Sur húmedo de Chile (39°S), cultivadas en una zona hiperárida (30°S) se ha registrado que no hay cambios significativos en las proteínas totales pero sí en algunos minerales, observándose por ejemplo más Hierro en semillas de la misma variedad cuando es cultivada en una zona árida, aunque en ésta el Hierro del suelo estaba menos disponible (Miranda *et al.* 2013b). Asimismo los resultados de estos mismos autores mostraron que las semillas de variedades Regalona y Villarrica cultivadas en la zona árida (bajo irrigación) incrementaron significativamente ( $P < 0.05$ ) sus rendimientos ( $4.2$  y  $5.1 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente), su fibra dietaria soluble ( $16.8 \pm 0.4$  y  $28.9 \pm 2.1 \text{ g kg}^{-1}$  de Materia Seca, MS, respectivamente), vitamina B3 ( $2.44 \pm 0.005$  y  $2.26 \pm 0.04 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  MS, respectivamente), saponinas ( $3.22 \pm 0.38 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  MS, en La Regalona), compuestos fenólicos ( $19.2 \pm 5.48$  y  $31.92 \pm 1.14 \text{ mg}$  equivalentes de ácido Gálico  $100 \text{ g}^{-1}$  MS, respectivamente) y sus componente del análisis proximal (excepto las proteínas). En cambio en sus ambientes de origen (clima frío y húmedo lluvioso) se encontró mayor tamaño de las semillas ( $2.22 \pm 0.17 \text{ mm}$  en Villarrica) y en el peso de 1000 semillas ( $3.08 \pm 0.08$  y  $3.29 \pm 0.08 \text{ g}$ , respectivamente), también en el contenido de fibra dietaria insoluble ( $112.3 \pm 23.8 \text{ g kg}^{-1}$  MS, en La Regalona). Por otra parte la vitamina C fue mayor en La Regalona en ambientes áridos ( $31.22 \pm 4.2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  MS), pero un contenido mayor se observó en la variedad Villarrica en su clima de origen ( $49.3 \pm 5.36 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  MS). Estos resultados sugieren que muchas propiedades de la quínoa se mantienen con los cambios geográficos que implican diferentes suelos y climas. Sin embargo algunos elementos y moléculas cambian sus concentraciones lo que puede ser favorable o no y debe evaluarse caso a caso, depende de qué valor quiera obtenerse para una particular necesidad nutricional humana considerando entonces una apropiada combinación de genotipo y de ambiente.

## 6. Perspectivas.

Es importante señalar que el contenido de proteínas en las hojas de quinua, a veces superior a 20%, como se puede ver en el capítulo de propiedades forrajeras de este mismo libro (Blanco-Callisaya 2013) permite dar a esta planta un uso en humanos para su consumo como granos pero también como brotes y hojas. Las propiedades nutricionales de

estas estructuras vegetales a veces cambian y podrían permitir otras ventajas tanto culinarias como funcionales, pero también de nuevas o más fáciles adaptaciones a nuevos climas, suelos y a otras culturas. Por lo mismo hay que continuar en los estudios de bioasimilación en modelos *in vitro*, *in vivo* y también en humanos. Por ejemplo, se ha demostrado que la bioasimilación del hierro que contiene la quinua aumenta si se trata de harina de brotes germinados respecto de semillas no germinadas (Valencia *et al.* 1999). Por otra parte es posible que por ejemplo la reciente detección de isoflavonas en semillas de quinua (Lutz *et al.* 2013) pueda augurar que este alimento pueda mejorar la calidad y cantidad de leche en la lactancia materno-infantil, con beneficios importantes en niños menores de cinco años si se considera la presencia también del factor de crecimiento tipo insulina (IGF-1) como fue descrito por Ruales *et al.* (2002).

Hay otra perspectiva para el desarrollo más masivo de la quinua que es considerar las saponinas, un desecho hasta ahora poco utilizado como un foco fuerte de investigación aplicada. Esto permitiría valorizar este desecho y con ello contribuir a que este grano ocupe un lugar importante, incluso considerarlo en vías de un reemplazo al menos parcial del arroz. Los estudios en otras saponinas han demostrado que sus flavonoides son potenciales agentes anticancerígenos (Man *et al.* 2010). Asimismo poseen actividad contra plagas y enfermedades agrícolas (Stuardo & San Martín 2008, San Martín *et al.* 2008). Eliminar las saponinas puede ser un costo mayor del cultivo. Pero ya se vió que este proceso no disminuye su calidad nutricional (como sí ocurre en el arroz) y el desecho generado puede tener un gran valor. Por ejemplo estudios preliminares muestran los efectos positivos en la apertura floral de flores ornamentales cuando el agua del simple lavado de la quinua, antes de consumirla, es luego aplicada en el riego (Figura 1). Todas estas posibilidades son oportunidades que ameritan investigación de calidad para en fin lograr que la quinua recupere en América del Sur el rol que tuvo en tiempos ancestrales. Asimismo que este rol pueda expandirse a otras regiones del mundo de modo que el *arroz de los Incas* pueda ser una oportunidad para todo el planeta, particularmente para aquellos cuya calidad y cantidad de alimentación es deficiente. En este

caso los problemas de la adaptación de la quinua como solución alimentaria podrían enfrentar un dilema por posibles efectos negativos de una probable pérdida en la agro-biodiversidad local por introducción de un cultivo nuevo. Sin embargo este tipo de introducciones ya ocurrió en el pasado, por ejemplo con papas (*Solanum tuberosum*) y tomates (*Solanum lycopersicum* L.) sin grandes pérdidas de agrobiodiversidad local. Por otra parte es necesario ver caso a caso la realidad local antes de programas de masificación, especialmente si ante la urgencia de hambre o desnutrición los pasos no pueden ser equívocos. Por ejemplo en Mali (Latitud 12°N, África Oeste) se ha hecho intentos por 3 años para probar el desempeño de variedades de quinua, desconocidas antes, y hay buenos resultados en estación seca, pero muchas plagas y enfermedades en estación húmeda (Coulibaly *et al.* 2013). Con ello se observa el potencial posible pero al mismo tiempo la precaución constante de cumplir con todas las etapas de investigación antes de lanzarse a una introducción masiva.



**Figura 1.** Flores ornamentales (*Gazania sp.*) regadas con agua (controles) y con una solución de la misma agua pero usada para el lavado de granos de quinua (datos no publicados del autor).

Hoy el arroz que se consume mayoritariamente es el blanco. En ese “nicho culinario” la quinua sería un excelente reemplazo, o complemento al constatar que las cocinas masivas, como la comida escolar

pública de Chile, de 2 millones de niños al día, no usan ni la quínoa ni el arroz integral. El contenido nutricional de éste se asemeja más a la quinua que al del arroz blanco.

## 7. Conclusiones.

El valor nutricional de la quinua, en cada revisión de literatura y desde hace 20 años, no es sino confirmado y aun enriquecido de más y más elementos de juicio. Las proteínas de sus semillas, de alta calidad, se ven poco afectadas por las condiciones de cultivo, particularmente en condiciones de déficit hídrico. Ello le da a esta planta una gran resiliencia, cualidad útil para una agricultura que enfrenta problemas de aridez, de suelos degradados o salinizados e incluso de exceso de emisiones de gases con efecto invernadero. Los 20 aminoácidos mantienen a menudo sus proporciones en diferentes condiciones de cultivo, con bajo impacto en la calidad de sus proteínas. Sus Minerales (P, K, Ca, Mg, Mn, Zn) y aceites, vitaminas (B1, B2, B3, C, E), sus flavonoides parecen sumarse en forma sinérgica para dar a esta planta una alta calidad nutricional y antioxidante, que se mantiene incluso ante procesos de transformación que involucran altas temperaturas. Las ventajas frente al arroz, sumada a la similitud de usos culinarios, de sus procesos de transformación post-cosecha y la baja demanda hídrica permite prever que la quinua puede ofrecer granos de al menos un reemplazo parcial del arroz, con altos beneficios para la salud humana tanto en poblaciones deficitarias como en aquellas donde el problema es la malnutrición por exceso.



## Referencias

- Ahamed NT, Singhal RS, Kulkarni PR & P Mohinder (1998) A lesser-known grain, *Chenopodium quinoa*: review of the chemical composition of its edible parts. *Food Nutrition Bulletin* 19:61–70.
- Aherne SA, Jiwan MA, Daly T, & NM O'Brien (2009) Geographical Location has Greater Impact on Carotenoid Content and Bioaccessibility from Tomatoes than Variety. *Plant Foods and Human Nutrition* 64:250–256.
- Ayala, G., L. Ortega y C. Morón. 2004. Valor nutritivo y usos de la quinua. En: A. Mujica, S Jacobsen, J. Izquierdo y JP. Marathe (eds). *Quinoa: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile. pp 215-253.
- Barker DJ, Winter PD, Osmond C, Margetts B, & SJ Simmonds SJ (1989) Weight in infancy and death from ischaemic heart disease. *Lancet* 2:577-80.
- Bazile, D (2012) L'agriculture peut-elle sauver la biodiversité? *Alternatives Internationales* 55:50-53.
- Berti C, Riso P, Brusamolino A & Porrini M (2005) Effect on appetite control of minor cereal and pseudocereal products. *British Journal of Nutrition* 94:850-858.
- Blanco-Callisaya JA (2013) Forraje y alimentación animal. En: *Estado del arte de la quinua en el mundo*, Capítulo 3.5. FAO, Roma, Italia.
- Brady K, Ho C-T, Rosen RT, Sang S & MV Karwe (2007) Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa. *Food Chemistry* 100:1209–1216.
- Coulibaly AK, Sangare A, Konate M, Traore S, Ruiz KB, Martínez EA, Zurita AR, Antognoni F, Biondi S, Maldonado S, León P, Bazile D (2013) Evaluación de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) y adaptación a las condiciones agroclimáticas de Mali África oeste: un ejemplo de colaboración sur-norte-sur. En: *Estado del arte de la quinua en el mundo*, Capítulo 6.31. FAO, Roma, Italia.
- Dogan H& MV Karwe (2003) Physicochemical Properties of Quinoa Extrudates. *Food Science Technology International* 9:101–114.
- FAO (2011) La quinua, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. W Rojas (ed). Oficina regional FAO para América Latina y El Caribe, Santiago, Chile, 58p.
- Farinazzi-Machado FMV, Barbalho SM, Oshiiwa M, Goulart R, Pessan Junior O. (2012) Use of cereal bars with quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) to reduce risk factors related to cardiovascular diseases. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas* 32: 239-244.
- Gawlik-Dziki U, S'wieca M, Sułkowski M, Dziki D, Baraniak B, Czy J (2013) Antioxidant and anticancer activities of *Chenopodium quinoa* leaves extracts – In vitro study. *Food and Chemical Toxicology* 57:154–160
- Galwey NW (1993) The potential of quinoa as a multi-purpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and Products* 1: 101-106.
- Gonzalez JA, Konishi Y, Bruno M, Valoya M& FE Pradoc (2012) Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars from two different agroecological regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92:1222-1229.
- Jacoby E, Tirado C, Díaz A, Peña M, Sanches A, Coloma M J, Rapallo R, Rodríguez A, Sotomayor O, Arias J, Courtis C (2014) Una mirada integral a las políticas públicas de agricultura familiar, seguridad alimentaria, nutrición y salud pública en las Américas: Acercando agendas de trabajo en las Naciones Unidas. Documento conjunto de OPS/OMS/FAO/CEPAL/IICA y Oficina del Alto Comisionado de Naciones Unidas para los DD.HH. 14 p.
- Jancurová M, Lucia Minarovičová L & Dandár A (2009) Quinoa-A review. *Czech Journal of Food Science* 27: 71–79.
- Latham MC (2002) *Alimentación humana en el mundo en desarrollo*. Colección FAO, N°29, Roma, Italia, 531p.
- Lindeboom N (2005) Studies on the characterization, biosynthesis and isolation of starch and protein from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis doctoral. Department of Applied Microbiology and Food Science University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, 152p.
- Lutz M, Martínez EA & A Martínez (2013) Daidzein and Genistein contents in seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) from local ecotypes

grown in arid Chile. *Industrial Crops and Products* 49:117-121.

Man S, Gao W, Zhang Y, Huang L & L Changxiao (2010) Chemical study and medical application of saponins as anti-cancer agents *Fitoerapia* 81:703-714.

Mardones F (2009) *Obesidad, ¿Qué Podemos Hacer?* (Mardones-Santander, F., Velasco N. and Rozowski J., eds.). 288p. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

Martínez CP, Borrero J, Tohme J (2006) *Primer Curso de Mejoramiento genético del arroz*. Capítulo: Variedades de arroz con mayor valor nutricional para combatir la desnutrición en América Latina, La Habana, Cuba, 30 octubre-10 noviembre 2006, 11p.

Martínez EA, Veas E, Jorquera C, San Martín, R. Jara, P. 2009. Re-introduction of *Chenopodium quinoa* Willd. into arid Chile: Cultivation of two lowland races under extremely low irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195:1-10.

Miranda M, Vega-Gálvez A, López J, Parada G, Sanders M, Aranda M, Uribea E & K Di Scala (2010) Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Industrial Crops and Products* 32:258-263.

Miranda M, Vega-Gálvez A, Martínez EA, López J, Rodríguez M-J, Henríquez K, & F Fuentes (2012a) Genetic diversity and comparison of physicochemical and nutritional characteristics of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes cultivated in Chile. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* (ahora *Food science and Technology*) 32: 835-843.

Miranda M, Vega-Gálvez A, Quispe-Fuentes I, Rodríguez M-J, Maureira H & EA Martínez (2012b) Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72:175-181.

Margarita Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Jorquera, E., López, J., Martínez, E. A. (2013a) Antioxidant and antimicrobial activity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from three geographical zones of Chile. En: *Worldwide research efforts in the fighting against microbial pathogens: from basic research to technological development* (Méndez-Vilas, A.

ed.). BrownWalker Press, Boca Raton. Florida, USA. pp. 83-86.

Miranda M, Vega-Gálvez A, Martínez EA, Lopez J, Marin R, Aranda M & F Fuentes (2013b) Influence of contrasting environments on seed composition of two quinoa genotypes: nutritional and functional properties. *Chilean Journal of Agronomical Research* 73:108-116.

Nauta AJ, Ben Amor K, Knol J, Garssen J, & E. van der Beek (2013) Relevance of pre- and postnatal nutrition to development and interplay between the microbiota and metabolic and immune systems. *The American journal of clinical nutrition* 98:586-593.

Novo M, Garrido A, Llamas MR & C Varela-Ortega (2008) Are virtual water «flows» in Spanish grain trade consistent with relative water scarcity? Fundación Marcelino Botín, Santander, España, 37p.

Ogunbenge HN (2003) Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. *International Journal of Food Science and Nutrition* 54:153-158.

Oshodi AA, Ogunbenle HN & MO Oladimeji (1999) Chemical composition, nutritionally valuable minerals and functional properties of beniseed (*Sesamum radiatum*), pearl millet (*Pennisetum typhoides*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) flours. *International Journal Food Science and Nutrition* 50:325-331.

Pinho Franco MDC & Nigro D (2003) Intrauterine undernutrition-renal and vascular origin of hypertension. *Cardiovascular Research*. 60:228-34.

Repo-Carrasco-Valencia R, Hellström JK, Pihlava J-M & PH Mattila (2010) Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry* 120:128-133.

Rojas W, Pinto M, Soto JL & E Alcocer (2010) Valor nutricional, agroindustrial y funcional de los granos andinos. En: W Rojas, MPinto, JL Soto, M Jagger & S Padulosi (eds). *Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Bioversity International, Roma, Italia. pp 151- 164.

- Ruales J, de Grijalva Y, Lopez-Jaramillo P & Nair BM (2002) The nutritional quality of an infant food from quinoa and its effect on the plasma level of insulin-like growth factor-1 (IGF-1) in undernourished children. *International Journal of Food Science and Nutrition* 53:143-154.
- San Martín R, Ndjoko K & K Hostettmann (2008) Novel molluscicide against *Pomacea canaliculata* based on quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins. *Crop Protection* 27:310–319.
- Schlick G & DL Bubenheim (1996) Quinoa: candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems, in *Progress in New Crops*, ed. by Janick J. ASHS Press, Arlington, VA, pp. 632–640.
- Spencer JPE (2010) The impact of fruit flavonoids on memory and cognition. *British Journal of Nutrition* 104: S40–S47.
- Stuardo M & R San Martín (2008) Antifungal properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) alkali treated saponins against *Botrytis cinerea*. *Industrial Crops and Products* 27:296–302.
- Tapia M (1990) Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA – FAO, Oficina para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile.
- Tapia EM (1992) Cultivos marginados de la región andina. In: J. Hernandez, J. Bermejo y J. Leon (eds). *Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492*. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Roma. pp 123-128.
- Tapia ME (editor) (2000) *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. 2ª ed. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile.
- UNICEF (2013) Informe Anual de UNICEF 2012. New York, 54 pp. (disponible en: [www.unicef.org/publication](http://www.unicef.org/publication)).
- Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Martínez EA (2010) Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2541-2547.
- Vieau D (2011) Perinatal nutritional programming of health and metabolic adult disease. *World Journal of Diabetes*. 2:116-33.
- Young VR & PL Pellet (1994) Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition* 59(suppl):1203S-1212S.
- Zhu N, Sheng S, Li D, Lavoie EJ, Karwe M V, Rosen R T & CT Ho (2001). Antioxidative flavonoid glycosides from quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Food Lipids* 8:37–44.

**CAPÍTULO: 3.5.****TÍTULO: PERSPECTIVAS  
NUTRACÉUTICAS DE LA QUINUA:  
PROPIEDADES BIOLÓGICAS Y  
APLICACIONES FUNCIONALES**

\*Autor para correspondencia: Francisco FUENTES <[francfue@unap.cl](mailto:francfue@unap.cl)>

FRANCISCO FUENTES<sup>\*a,b</sup>, XIMENA PAREDES-GONZALEZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Arturo Prat, Avenida Arturo Prat 2120, Iquique, Chile.

<sup>b</sup> Department of Pharmaceutics, Ernest Mario School of Pharmacy, Rutgers, The State University of New Jersey, 160 Frelinghuysen Road, Piscataway, New Jersey 08854, USA.

**Resumen**

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta amarantácea que ha sido reconocida por siglos como un importante cultivo alimenticio en los Andes de Sudamérica. Sus granos son altamente nutritivos con una importante cantidad de proteínas y compuestos bioactivos superando en valor biológico a los tradicionales granos de cereales. De esta manera la quinua representa un alimento nutricionalmente bien balanceado con múltiples propiedades funcionales relevantes para la reducción de factores de riesgo de enfermedades crónicas atribuibles a sus actividad anti-oxidante, anti-inflamatoria, inmunomodulatoria y anti-carcinogénica, entre otras. El presente capítulo entrega una visión global actualizada de las perspectivas nutraceuticas de la quinua basada en diversas investigaciones que reportan sus propiedades biológicas y aplicaciones funcionales de beneficio a la salud humana.

**1. Introducción.**

La quinua, es un cultivo de grano de origen andino que ha ganado recientemente atención mundial debido a su valor nutricional, funcional y potencial aplicación farmacéutica (Bhargava *et al.* 2006; Hirose *et al.*, 2010; Vega-Gálvez *et al.*, 2010), así como su capacidad para prosperar en condiciones adversas (e.g. salinidad de suelos, pH extremo, sequía, heladas, entre otros) (Jacobsen *et al.* 2003; Fuentes & Bhargava, 2011).

Debido a estas características, el cultivo de la quinua ha sido introducido en nuevas zonas fuera del área andina, especialmente en Norte América, Europa y regiones sub-tropicales de África y Asia, con buenos resultados productivos, confirmando su potencial como grano para consumo humano (Mujica *et al.*, 2001; Casini, 2002; Jacobsen, 2003; Bhargava *et al.* 2007; Pulvento *et al.* 2010). En este contexto, el valor nutricional de la quinua ha sido básicamente reconocido por su proteína de alta calidad, particularmente rica en aminoácidos esenciales y por su contenido de carbohidratos, produciendo bajos índices de glicemia y en general una mejor calidad nutricional y funcional respecto a granos de cereales tales como maíz, avena, trigo y arroz (Ruales y Nair, 1993a; 1994; Repo-Carrasco *et al.*, 2003; Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2010). De esta manera la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) decidió llamar el año 2013 como el año internacional de la quinua debido a su rol en la obtención de seguridad alimentaria y nutricional así como en su utilidad para la erradicación de la pobreza (Naciones Unidas, 2011).

**2. Composición nutricional y fitoquímica de la quinua.**

Diversos estudios han reportado la composición nutricional de la quinua, destacando en particular el valor biológico de sus granos debido a su alta concentración de proteínas ( $\leq 23\%$ ) (Bhargava *et al.*, 2007; Miranda *et*



*al.*, 2012; 2013), contenido de almidón y fibra dietaria alrededor de 60% y 13%, respectivamente (Ruales y Nair, 1994; Tapia *et al.*, 1979; Repo-Carrasco-Valencia y Serna *et al.*, 2011), contenido de aceites entre 4,5-8,7% (Ruales y Nair, 1993a; Repo-Carrasco *et al.*, 2003), siendo la proporción de estos: 24% oleico, 54% linoleico y 4%  $\alpha$ -linoleico (Wood *et al.*, 1993; Fleming y Galwey, 1995). Igualmente, la quinua es considerada una buena fuente de riboflavina, tiamina, ácido fólico,  $\alpha$ - y  $\gamma$ -tocoferol, así como también cuenta con un mayor contenido de calcio, fósforo, magnesio, hierro, zinc, potasio y cobre en comparación con otros granos (Torrez *et al.*, 2002; Jancurová *et al.*, 2009; USDA, 2013a; Cuadro 1). Por otra parte, cantidades significativas de componentes bioactivos tales como fitoesteroides, betainas, esqualeno, ecdisteroles, fagopiritoles, carotenoides, vitamina C y polifenoles (e.g. kaempferol y quercetina; Cuadro 2 y 3) han sido identificado en sus granos (De Simone *et al.*, 1990; Berghofer y Schoenlechner, 2002; Taylor y Parker, 2002; Dini *et al.*, 2004; 2005; Wijngaard y Arendt, 2006; Álvarez-Jubete *et al.*, 2010), los cuales han sido ampliamente reportados tener efectos benéficos para la salud (Dini *et al.*, 2010). Por su parte, las hojas de quinua

también contienen una considerable cantidad de cenizas (3,3%), fibra (1.9%), nitratos (0,4%), vitamina E (2,9 mg  $\alpha$  TE/100 g) y sodio (289 mg/100 g), vitamina C (1,2-2,3 g/kg) y 27-30 g/kg de proteínas (Bhargava *et al.*, 2006); y al igual que sus granos, las hojas de quinua poseen una importante cantidad de compuestos bioactivos, tales como ácido ferúlico, sinapínico y gálico; kaempferol, isorhamnetina y rutina (Gawlik-Dziki *et al.*, 2013). A pesar de la naturaleza de su composición, una serie de factores llamados anti-nutricionales en sus granos, también han sido descritos, incluyendo taninos, inhibidores de proteasas, ácido fítico y saponinas (Chauhan *et al.*, 1992; Ruales y Nair 1993b). Así, la principal desventaja de la quinua ha sido el sabor amargo de sus granos debido a saponinas presentes en las capas externas de su semilla, el cual ha sido ampliamente descrito como anti-nutriente debido a su fuerte actividad de unión a minerales (Brady *et al.*, 2007). Pese a esto, un creciente número de evidencias han demostrado que las saponinas podrían tener efectos benéficos para la salud (e.g. efecto anti-carcinogénico y disminución del colesterol) (Álvarez-Jubete *et al.*, 2010; Kuljanabhagavad *et al.*, 2008).

**Cuadro 1.** Contenido de nutrientes de *Chenopodium quinoa* (USDA, 2013a).

Nutriente	Unidad	Valor por 100 g
Proximal		
Agua	g	13,28
Energía	kcal	368
Energía	kJ	1539
Proteína	g	14,12
Lípidos totales (grasa)	g	6,07
Cenizas	g	2,38
Carbohidratos, por diferencia	g	64,16
Fibra, total dietaria	g	7,0
Almidón	g	52,22
Minerales		
Calcio, Ca	mg	47
Hierro, Fe	mg	4,57
Magnesio, Mg	mg	197
Fósforo, P	mg	457
Potasio, K	mg	563
Sodio, Na	mg	5
Zinc, Zn	mg	3,10
Cobre, Cu	mg	0,590

Manganeso, Mn	mg	2033
Selenio, Se	µg	8,5
Vitaminas		
Tiamina	mg	0,360
Riboflavina	mg	0,318
Niacina	mg	1520
Ácido pantoténico	mg	0,772
Vitamina B-6	mg	0,487
Vitamina C, ácido ascórbico total*	mg	22,39
Folato, total	µg	184
Betaína	mg	630,4
Luteína + zeaxantina	µg	163
Vitamina E (alfa-tocoferol)	mg	2,44
Tocoferol, beta	mg	0,08
Tocoferol, gamma	mg	4,55
Tocoferol, delta	mg	0,35
Lípidos		
Ácidos grasos, total saturados	g	0,706
Ácidos grasos, total mono-insaturados	g	1613
Ácidos grasos, total poli-insaturados	g	3292

## 2.1 Polifenoles.

Los polifenoles son metabolitos secundarios bioactivos de las plantas que están ampliamente presentes en alimentos de origen vegetal. Los tres principales tipos de polifenoles son los flavonoides, ácidos fenólicos y taninos, los cuales actúan como potentes anti-oxidantes (Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2010). Los polifenoles además pueden contribuir a la amargura, astringencia, color, sabor y estabilidad oxidativa de los alimentos (Han *et al.*, 2007; Scalbert *et al.*, 2005; Shahidi & Naczk, 1995).

El efecto de los compuestos fenólicos en la dieta ha sido de gran interés en la actualidad debido a sus múltiples propiedades, tales como su capacidad anti-oxidante, protección cardiovascular, anti-alérgica, anti-inflamatoria, anti-viral y actividad anti-carcinogénica (Nishibe *et al.*, 1996; Dini *et al.*, 2004; Aalinkeel *et al.*, 2008; Pasko *et al.*, 2008; Khan *et al.*, 2010). La actividad anti-oxidante y presencia de compuestos fenólicos en el grano de quinua ha sido descrita en los últimos años usando diferentes metodologías (Zhu *et al.*, 2001; Nsimba *et al.*, 2008; Pasko *et al.* 2008, Repo-Carrasco-Valencia *et al.*,

2010; Miranda *et al.*, 2013). Así, el contenido de fenoles totales y capacidad atrapadora de radicales libres (DPPH) en los granos de quinua han mostrado valores promedio de 1,11 y 42,3 mg de equivalente de ácido gálico/g, respectivamente. Estos valores son ampliamente superiores a los obtenidos en semillas de cereales tradicionales como cebada, trigo, arroz y mijo (rango entre 0,16 a 0,36 y 2,5 a 17,7 mg de equivalente de ácido gálico/g, respectivamente), revelando así el gran potencial como sustitutos de cereales (Asao y Watanabe, 2010; Djordjevic *et al.*, 2010).

Recientemente se ha reportado el contenido de ácidos fenólicos en quinua, compuesto principalmente por los ácidos cafeico, ferúlico, p-cumárico, p-OH-benzoico, vanilínico, gálico y cinámico (Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2010; Pasko *et al.*, 2008; Cuadro 2). Asimismo, el contenido de flavonoides está compuesto predominantemente por quercetina y kempferol, mientras que algunas variedades presentan abundantemente orientina, vitexina y rutina (Pasko *et al.*, 2008; Álvarez-Jubete *et al.*, 2010; Hirose *et al.*, 2010; Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2010; Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Contenido total (mg/100 g) de ácidos fenólicos solubles en semillas<sup>1</sup> y hojas<sup>2</sup> de *Chenopodium quinoa*.

Pasko <i>et al.</i> (2008) <sup>*, 1</sup>			Repo - Carrasco - Valencia <i>et al.</i> , (2010) <sup>†, 1</sup>	Gawlik-Dziki <i>et al.</i> , (2013) <sup>‡, 2</sup>
Compuesto	Unidad	Valor por 100 g	Valor por 100 g	Valor por 100 g
Acido cafeico	mg	4,0	0,7 ± 0,4	s.d.
Acido ferúlico	mg	s.d.	15,0 ± 3,0	76,2 ± 4,2
Acido o-cumárico	mg	s.d.	s.d.	0,23 ± 0,02
Acido p-cumárico	mg	s.d.	8,0 ± 7,0	3,3 ± 0,3
Acido p-OH-benzoico	mg	7,7	2,9 ± 0,6	1,0 ± 0,1
Acido vanílico	mg	4,3	11,0 ± 2,0	2,3 ± 0,2
Acido gálico	mg	32,0	s.d.	16,3 ± 1,2
Acido cinámico	mg	1,0	s.d.	s.d.
Acido clorogénico	mg	s.d.	s.d.	3,7 ± 0,2
Acido sirínigico	mg	s.d.	s.d.	1,9 ± 0,01
Acido sinapínico	mg	s.d.	s.d.	19,3 ± 1,13
Acido benzoico	mg	s.d.	s.d.	0,15 ± 0,02
TOTAL	mg	49,0	37,0 ± 9,0	124,4 ± 7,4

<sup>†</sup> Contenido promedio de diez genotipos distintos de quinua.

<sup>\*</sup> Contenido de solo un genotipo de quinua proveniente de Bolivia.

<sup>‡</sup> Contenido de solo un genotipo (cv. Faro, Chile), cultivado en Polonia obtenido a partir de tres experimentos independientes.

**Cuadro 3.** Contenido de flavonoides en semillas<sup>1</sup> y hojas<sup>2</sup> de *Chenopodium quinoa* (mg/100 g).

Pasko <i>et al.</i> (2008) <sup>*, 1</sup>			Repo-Carrasco-Valencia <i>et al.</i> , (2010) <sup>†, 1</sup>	Gawlik-Dziki <i>et al.</i> , (2013) <sup>‡, 2</sup>
Compuesto	Unidad	Valor por 100 g	Valor por 100 g	Valor por 100 g
Mirecetina	mg	s.d.	0,5 ± 0,5	s.d.
Quercetina	mg	s.d.	36,0 ± 13,0	0,68 ± 0,06
Kaempferol	mg	s.d.	20,0 ± 20,0	4,6 ± 0,5
Isorhamnetina	mg	s.d.	0,4 ± 0,7	0,31 ± 0,02
Rutina	mg	36,0	s.d.	6,2 ± 0,6
Orientina	mg	107,6	s.d.	s.d.
Vitexina	mg	70,9	s.d.	s.d.
Morina	mg	8,9	s.d.	s.d.
Hesperidina	mg	0,2	s.d.	s.d.
Neohesperidina	mg	0,2	s.d.	s.d.
TOTAL	mg	223,8	58,0 ± 13,0	11,8 ± 1,2

<sup>†</sup> Contenido promedio de diez genotipos distintos de quinua.

<sup>\*</sup> Contenido de solo un genotipo de quinua proveniente de Bolivia.

<sup>‡</sup> Contenido de solo un genotipo (cv. Faro, Chile), cultivado en Polonia obtenido a partir de tres experimentos independientes.

Debido a que la presencia de flavonoides en plantas comestibles mejora el valor nutracéutico en términos de efectos en la promoción de la salud, el contenido de flavonoides en varias especies vegetales ha sido recientemente publicado en línea a partir de diferentes estudios (USDA, 2013b). Pese a esta valiosa herramienta, el contenido de flavonoides de quinua aún no es considerado, a pesar de ser un alimento funcional más efectivo, en términos de fuente de flavonoides bioactivos, entre granos convencionales cereales y pseudo cereales, superando incluso el contenido de flavonoides presente en bayas como arándano rojo y agrio (*Vaccinium vitis-idaea* y *Vaccinium macrocarpon*).

Recientemente, se ha reportado por primera vez en semillas de quinua el contenido de los glicósidos daidzina (4',7-dihidroxiisoflavona) y genistina (4',5,7-trihidroxiisoflavona) y sus respectivas agliconas, daidzeina y genisteína, (Lutz *et al.*, 2013). Estas isoflavonas son consideradas como fitoestrógenos debido a su habilidad de unirse a receptores de estradiol (RE) (Ye *et al.*, 2009). Diversos análisis de estas isoflavonas en los alimentos han determinado una gran variedad en su contenido, siendo principalmente encontrados en los granos de leguminosas como glicósidos de daidzeina, genisteína y gliciteína. No obstante, en harinas de cereales (avena, trigo y maíz), la presencia de estos compuestos ha sido reportada a nivel de trazas o sin niveles cuantificables (Adlercreutz y Mazur, 1997; Horn-Ross *et al.*, 2000; Liggins *et al.*, 2002; USDA, 2008). Así, el contenido de daidzeina y genisteína en semillas de quinua a partir de ecotipos locales de Chile ha sido reportado entre 0,7-1,15 y 0,05-0,25 mg/100 g, respectivamente; mientras que en semillas comerciales de quinua el contenido de daidzeina y genisteína varió entre 0,78-2,05 y 0,04-0,41 mg/100 g, respectivamente. La concentración de estas isoflavonas en plantas en general depende de factores tales como diversidad genética, influencia medio ambiental, condiciones de cosecha y procesamiento (Tsukamoto *et al.*, 1995). Interesantemente, aquellas semillas de quinua de color oscuro provenientes de zonas altas en los Andes (altiplano) presentaron mayor contenido de isoflavonas, demostrando el potencial como una fuente de compuestos bioactivos promotores de la salud (Lutz *et al.*, 2013).

## 2.2 Triterperpenoides.

Un grupo de compuestos triterpenoides ampliamente descrito en quinua son las saponinas, estas se localizan principalmente en la capas externas del grano (pericarpio) y se caracterizan por su sabor amargo y formación de espuma (saponinas solubles en agua), haciendo su grano esencialmente no palatable (Brady *et al.*, 2007). El contenido de saponinas en semillas de genotipos dulces y amargos varía entre 0,2-0,4 y de 4,7-11,3 g/kg MS, respectivamente (Mastebroek *et al.*, 2000). Así, la mayoría de las semillas de quinua encontradas en el comercio son previamente tratadas para remover su cubierta a través de lavado con agua o escarificación, a excepción de las variedades dulces, las cuales no poseen saponinas o presentan un contenido inferior al 1,1 g/kg MS (Abugoch, 2009). Hasta ahora se han descrito en quinua veinte tipos de saponinas triterpenoides, las cuales han sido aisladas de diversas partes de su planta (flores, frutos, pericarpio de semilla y semillas) (Mizui *et al.* 1988; 1990; Cuadrado *et al.* 1995; Mastebroek *et al.* 2000; Kuljanabhagavad *et al.* 2008) y sus estructuras han sido reportadas mediante análisis químico y espectroscopia de resonancia magnética nuclear 1D y 2D (NMR) (Wink, 2004; Kuljanabhagavad *et al.*, 2008). De esta manera, se puede distinguir saponinas monodesmosídicas, con una cadena de carbohidratos, y saponinas bidesmosídicas, portando dos cadenas de carbohidratos, las cuales consisten básicamente en unidades de arabinosa, glucosa, galactosa, ácido glucorónico, xilosa, y ramnosa (Kuljanabhagavad y Wink, 2009). Se ha establecido que las saponinas son moléculas derivadas de los ácidos oleanólico, hederagenina, ácido fitolaccagénico, ácido serjánico, y ácido 3 $\beta$ ,23,30-tri-hidroxi oleano-12-eno-28-oico, los cuales portan grupos hidroxilo y carboxílico en los C-3 y C-28, respectivamente, y que son modulados por la actividad enzimática de la  $\beta$ -amirina (Kuljanabhagavad *et al.*, 2008).

Investigaciones en saponinas aisladas del pericarpio de semillas de quinua han reportado tener actividad anti-microbiana, toxicidad en artemias, actividad anti-viral, producir disminución de los niveles de colesterol, y aumento de la absorción de drogas a través de las membranas de mucosas modificando la permeabilidad intestinal (Meyer *et al.*, 1990; Bomford *et al.*, 1992; Mahato y Kundu, 1994; Estrada *et al.*, 1999; Woldemichael y Wink, 2001; Stuardo y



San-Martín, 2008; Kuljanabhagavad y Wink, 2009). Estas incluso pueden actuar como adyuvante inmunológico para mejorar la respuesta de anticuerpos gen-específico (Estrada *et al.*, 1998; Verza *et al.*, 2012), así como poseer propiedades cito-tóxicas y de inducción de apoptosis en líneas celulares de cáncer (Kuljanabhagavad *et al.*, 2008), evidenciando el gran potencial de saponinas de quinua para diversos usos terapéuticos.

Adicionalmente a las saponinas, la quinua contiene una clase especial de molécula triterpénica conocida como fitoecdisteroide (Kumpun *et al.*, 2011), la cual exhibe un amplio espectro de efectos farmacológicos en mamíferos (Lafont y Dinan, 2003; Báthori *et al.*, 2008). Los ecdisteroides son hormonas esteroides las cuales controlan la muda y reproducción de artrópodos. El principal fitoecdisteroide encontrado en plantas de quinua es el 20-hidroxiecdisona (20E) con un valor promedio de  $365 \pm 51$  mg/kg (Báthori *et al.*, 2005; Kumpun *et al.*, 2011). A la fecha se reconocen algunos efectos beneficios sobre la función de varios órganos (Dinan y Lafont, 2006), como por ejemplo la propiedad anabólica de 20E como precursor de la síntesis de proteínas en células musculares humanas y de ratón (Gorelick-Feldman *et al.*, 2008; Báthori *et al.*, 2008). Adicionalmente, otros estudios han demostrado que 20E también ejerce control en la regulación de los niveles de glucosa en la sangre y actividad contra la obesidad asociada (Chen *et al.*, 2006; Foucault *et al.*, 2011). Así, el efecto anti-diabético de esta molécula ha sido observado en ratones con una reducción de la adiposidad cuando se utilizan dietas con alto contenido de grasa suplementadas con este fitoecdisteroide (Kizelsztejn *et al.*, 2009). Por otro lado, se ha encontrado que estos compuestos también pueden ser considerados como agentes químicos potentes para prevenir o retrasar los daños de la piel asociados a la actividad de la enzima colagenasa y a los efectos del estrés oxidativo (Nsimba *et al.*, 2008).

### 3. Propiedades Biológicas y aplicaciones funcionales.

#### 3.1 Efecto anti-oxidante.

Los anti-oxidantes naturales juegan un rol importante en la inhibición de radicales libres y reacciones oxidativas en cadena a nivel de tejidos y membranas (Nsimba *et al.*, 2008). La mayoría de los compuestos fenólicos en quinua poseen actividad anti-oxidante (Gorinstein *et al.*, 2007; Repo de Carrasco y Encina

Zelada, 2008; Pasko *et al.*, 2009). Nsimba *et al.* (2008), evaluaron la actividad anti-oxidante de varios extractos de quinua (cultivadas en Japón y Bolivia), reportando alta actividad anti-oxidante de sus granos, incluso superior a la del amaranto, usando diferentes metodologías: potencial de oxido/reducción férrica (FRAP), 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) y 2,2-difenil-2-picril-hidrazil (DPPH), con valores de 4,97 mmol  $\text{Fe}^{2+}$ / kg MS, 27,19 mmol trolox/kg MS y 38,84 mmol trolox/kg MS, respectivamente.

La actividad anti-oxidante de semillas de quinua amargas y dulces, antes y después de su cocción, fueron evaluadas por Dini *et al.* (2010), con el objetivo de establecer cuál de estos tipos de semillas presenta mejor propiedad anti-oxidante y como el tradicional método de cocción puede afectar sus propiedades. Los resultados, obtenidos a través del uso de los métodos DPPH y FRAP, mostraron que la actividad anti-oxidante de semillas amargas fue superior que el de semillas dulces. Esta actividad dependió principalmente de la presencia de fenoles y flavonoides, mientras que en semillas dulces la actividad anti-oxidante fue producto a la presencia de compuestos como fenoles, flavonoides y carotenoides. Adicionalmente, se comprobó que la cocción en ambos tipos de semillas, causó una significativa pérdida de capacidad anti-oxidante, significando una pérdida de 50,4% en semillas dulces y de 45,4% en semillas amargas (Dini *et al.*, 2010).

Por otra parte, la bioactividad de las isoflavonas también ha sido descrita con efecto anti-oxidante (Gopalakrishnan *et al.*, 2006; Lo *et al.*, 2007; Jian *et al.*, 2010). El efecto benéfico de las isoflavonas ha permitido, en base a estudios *in vitro*, *in vivo* y clínicos, su uso en la formulación de varios alimentos funcionales, dirigidos hacia la reducción de los factores de riesgo de enfermedades crónicas, tales como enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas, osteoporosis, y cáncer (Song *et al.*, 2007; Jian *et al.*, 2010; Lutz, 2011), así como en la formulación de alimentos para el mejoramiento de la producción de leche durante la lactancia (Zhang *et al.*, 1995; Liu *et al.*, 1999; Groot, 2004). Interesantemente, el uso tradicional de la quinua en la población Aymara del altiplano norte en Chile sugiere que el consumo de quinua favorece la lactancia materna (Lutz *et al.*, 2013). En resumen, estos datos apoyan el potencial de la quinua como

suplemento alimenticio que podría enriquecer la dieta normal como fuentes de compuestos fenólicos naturales con propiedades anti-oxidantes.

### 3.2 Efecto hipocolesterolémico y anti-hipertensivo.

El colesterol, producido en el hígado y absorbido a través de la dieta, es necesario para nuestro organismo. Sin embargo, altos niveles de colesterol total, como altos niveles de lipoproteínas de baja densidad (LDL, *low density lipoproteins*) están asociados con un aumento en el riesgo de contraer enfermedades coronarias (Quillez *et al.*, 2003). En este contexto, varios estudios han demostrado que los esteroides presentes en plantas inhiben la absorción del colesterol en el organismo (Moreau *et al.*, 2002). La evaluación del contenido de fitoesteroides en semillas de quinua indica la presencia de  $\beta$ -sitosterol (63,7 mg/100 g), campesterol (15,6 mg/100 g), y estigmasterol (3,2 mg/100 g), siendo el contenido de estos componentes superior a los reportados en semillas de calabaza, cebada y maíz, sin embargo inferiores a los descritos en semillas de lenteja, garbanzo y sésamo (Ryan *et al.*, 2007).

El uso de aislados de proteínas obtenidos a partir de semillas de quinua (> 10% de grano) en ratones alimentados con dietas ricas en grasas, disminuyó significativamente los niveles totales de colesterol en plasma e hígado (Takao *et al.*, 2005). Adicionalmente el uso de estos aislados de proteínas de quinua presentaron actividad atrapadora de ácidos biliares *in vitro* y modulación de la expresión de la enzima 3-hidroxi-3-metilglutaril-coenzima A (HMG-CoA) en el hígado, una enzima que es clave para la biosíntesis del colesterol. Así, estos resultados sugieren que la prevención del incremento del colesterol en el plasma y en el hígado en ratones alimentados con dieta conteniendo aislados de proteínas de quinua, pueden ser atribuidos a la inhibición de la reabsorción de ácidos biliares en el intestino delgado y al control de la síntesis de colesterol y su catabolismo. Otros estudios usando harina de quinua o proteína hidrolizada de quinua han mostrado además que las propiedades bioactivas de la quinua pueden disminuir significativamente la presión sanguínea en ratas (Aluko y Monu, 2003; Ogawa *et al.*, 2001). Estudios *in vivo* usando un 3% de pericarpio de granos de quinua como suplemento dietario, también demostró una significativa disminución de los niveles de colesterol en plasma e hígado en ratones (Konishi *et al.*, 2000), posiblemente atribuido al contenido

de fibra dietaria soluble en agua, tal como ha sido reportado usando avena, salvado de arroz y otras fibras (Anderson, *et al.*, 1994; Truswell, 1995).

Hay considerables evidencias que la administración de alimentos enriquecidos con fructosa en ratas inducen una alteración adversa en el metabolismo y estado oxidativo, el cual conduce a la hipertrigliceridemia, aumento de la presión sanguínea, obesidad, desregulación en la tolerancia a la glucosa y resistencia a la insulina (Ackerman *et al.*, 2005; Tappy *et al.*, 2010; Pasko *et al.*, 2010a). Estudios en ratas evaluando el efecto de la dieta suplementada con semillas de quinua sobre parámetros bioquímicos en plasma y tejidos cuando son alimentadas con alto contenido de fructosa en la dieta, revelaron que la coadministración de semillas de quinua en la dieta influyó el estado oxidativo a través de la disminución en plasma de malondialdehído (MDA) y actividad de enzimas anti-oxidantes, tales como superóxido-dismutasa –SOD, catalasa –CAT y glutatión peroxidasa –GPX en plasma, corazón, riñón, testículos, pulmón y páncreas. Por otra parte la inclusión de quinua en la dieta disminuyó los niveles de colesterol total, lipoproteínas de baja densidad (LDL), triglicéridos, glucosa y nivel total de proteínas en el plasma, sin disminución de los niveles de lipoproteínas de alta densidad (HDL, *high density lipoproteins*). Estos resultados sugieren que las semillas de quinua en la dieta podrían actuar como un agente protector moderado contra los cambios potenciales inducidos por el consumo de fructosa a través de la reducción de la peroxidación de lípidos y el mejoramiento de la capacidad anti-oxidante en la sangre (plasma), pudiendo además reducir la mayoría de los efectos adversos ejercidos por la fructosa en el perfil lipídico y niveles de glucosa (Pasko *et al.*, 2010a; 2010b). En conjunto, estos estudios indicarían el potencial de la utilización de quinua como un agente coadyuvante en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares.

### 3.3 Actividad anti-inflamatoria e inmunomodulatoria.

La inflamación es clínicamente definida como un proceso fisiopatológico caracterizado por enrojecimiento, edema, fiebre, dolor y pérdida de actividad funcional. Estudios recientes sugieren que la inflamación excesiva y el daño oxidativo contribuyen a varias enfermedades agudas y crónicas incluyendo enfermedades auto inmunes, neurológicas, cardiovasculares y cáncer

(Grivennikov *et al.*, 2010; Reuter *et al.*, 2010). Aunque las actuales drogas anti-inflamatorias esteroidales y no esteroidales son usadas para el tratamiento de desórdenes inflamatorios crónicos, el uso prolongado de estas pueden causar efectos colaterales indeseados (Roubille *et al.*, 2013). Así, el uso de compuestos naturales tradicionalmente usados para la prevención y tratamiento de diversas patologías han ganado reciente atención debido a la naturaleza anti-oxidante y anti-inflamatoria de sus componentes, ya sea solos o en combinaciones (Basnet y Skalko-Basnet, 2011).

El grano de quinua ha sido tradicionalmente utilizado en los pueblos andinos como remedio natural para el tratamiento anti-inflamatorio de esguinces, torceduras, y distensiones musculares mediante el uso de emplastos de quinua, especialmente del tipo “negra”, mezclada con alcohol sobre las zonas afectadas (FAO, 2011). La literatura sugiere que las saponinas de la quinua parecen ser responsables de poseer actividad anti-inflamatoria (Mujica, 1994). Un tipo de saponina monodesmosídica llamada 3-*O*- $\beta$ -*D*-glucopiranosil ácido oleanólico aislado de semillas de *Randia dumetorum* Lam. ha sido descrita con fuerte actividad anti-inflamatoria en dosis de 25 y 100 mg/kg (con valores de LD50 de 3.600 mg/kg en ratones y 1.500 mg/kg en ratas) (Ghosh *et al.* 1983). Interesantemente, este tipo de saponina monodesmosídica ha sido también reportada en semillas de quinua (Ma *et al.* 1989). Esto sugiere que la actividad anti-inflamatoria podría estar ligada a los compuestos monodesmosidos presente en semillas de quinua (Kuljanabhagavad y Wink, 2009). El análisis de saponinas monodesmosídicas a partir de diferentes partes de plantas de quinua (semillas, cubierta de semillas y flores obtenidas de la Compañía de semillas Avelup, Temuco, Chile), mediante cromatografía líquida-espectrometría de masas (LC-MS) identificó el componente 3-*O*- $\beta$ -*D*-glucopiranosil hederagenina. Esta saponina monodesmosídica aislada a partir de frutos de *Hedera colchica* ha sido descrita además poseer una fuerte actividad anti-oxidante (Gülçin *et al.* 2006), actividad que podría también ser relacionada al monodesmosido 3-*O*- $\beta$ -*D*-glucopiranosil hederagenina encontrado en semillas de quinua (Kuljanabhagavad y Wink, 2009).

Saponinas triterpénicas pentacíclicas del tipo oleanano son componentes naturales de varias plantas (Mahato y Nandy 1991; Vincken *et al.* 2007),

y muchas de ellas han sido usadas como remedio anti-inflamatorio en la medicina tradicional (Sosa *et al.* 2007; Wiart 2007; Liu y Henkel 2002; Kim *et al.* 2002). Quinua contiene ácido oleanólico como principal aglicona en semillas y hederagenina en hojas (Mastebroek *et al.* 2000; Cuadrado *et al.* 1995), las cuales han sido implicadas en diferentes mecanismos moleculares anti-inflamatorios (Hwang *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2013). Dado el potencial farmacéutico de saponinas triterpénicas, diferentes esfuerzos deberían ser orientados hacia la caracterización y utilización de saponinas de quinua para su uso como agentes anti-inflamatorios o coadyuvantes en la absorción de ciertas drogas, debido a la capacidad adicional de inducir cambios en la permeabilidad intestinal (Gee *et al.* 1989; Johnson *et al.* 1986; Oakenfull y Sidhu 1990). La baja toxicidad de estos compuestos naturales hace que los triterpenos presentes en quinua podrían servir como una fuente natural de nuevos elementos para el desarrollo de drogas (Kuljanabhagavad y Wink, 2009).

Una de las clásicas enfermedades con un fuerte componente inflamatorio es la enfermedad celiaca, que es una enteropatía autoinmune de carácter crónico gatillada por el gluten dietario encontrado en el trigo, cebada y centeno (Abugoch, 2009). Las proteínas de estos cereales pueden ser subdivididas de acuerdo a su solubilidad en alcohol y ácidos en prolaminas y gluteninas, las cuales son parcialmente resistentes a las proteasas humanas. Posterior a su ingestión en pacientes con enfermedad celiaca, se generan varios péptidos inmunogénicos de gluten, los cuales activan el sistema inmune a través de múltiples vías celulares, resultando en una senescencia prematura de los enterocitos de la mucosa que cubren las vellosidades del intestino (Schuppan *et al.*, 2009; Di Sabatino y Corazza, 2009; Tjon *et al.*, 2010).

El actual tratamiento de esta enfermedad consiste básicamente en seguir estrictamente una dieta libre de gluten (DLG). En este contexto, el grano de quinua representa una alternativa de consumo para pacientes con enfermedad celiaca, debido a su alto valor biológico y baja concentración de prolaminas ( $\leq 7\%$ ), teniendo un distante enlace filogenético con cereales que contienen gluten. Sin embargo, pocos datos experimentales en la literatura apoyan esta recomendación (Zevallos *et al.*, 2012). Algunos de

estos estudios han examinado la factibilidad del uso de la quinua para pacientes con enfermedad celiaca a través de aproximaciones *in vitro* (Vincenzi *et al.*, 1999; Berti *et al.*, 2004; Bergamo *et al.*, 2011). A partir de estos estudios se concluyó que la quinua puede ser un componente seguro para DLG, sin embargo en todas estas evaluaciones los cultivares de quinua fueron desconocidos. Sólo en estudios realizados por Bergamo *et al.* (2011), se ha reportado la no reactividad inmunológica de quinua a partir de biopsias de duodeno de pacientes con enfermedad celiaca.

Recientemente, Zevallos *et al.* (2012), evaluaron el efecto inmune de 15 cultivares de quinua a través de ensayos de proliferación de células T/interferon- $\gamma$  (IFN- $\gamma$ ) provenientes de intestino delgado de pacientes con enfermedad celiaca y la producción de IFN- $\gamma$ /IL-15 después del cultivo celular de muestras de biopsias de duodeno. Los resultados de estos ensayos sugieren en general que el grano de quinua es seguro para pacientes con enfermedad celiaca. Sin embargo, se observó una gran variabilidad en el efecto inmune de proteínas de quinua, dependiente del cultivo analizado, tal como ha sido descrito previamente usando avena (Comino *et al.*, 2011). Asimismo, se reportó por primera vez la activación de células T por gliadinas específicas de proteínas proveniente de dos cultivares de quinua (Ayacuchana y Pasankalla), causando secreción de citoquinas a partir del cultivo de tejidos de biopsias a niveles comparables con aquellos producidos por gliadinas. Es probable que algunos péptidos tóxicos para celíacos existen entre las proteínas de quinua derivadas de estos dos cultivares, sin embargo la baja cantidad de estos epitopes podría ser clínicamente irrelevante. No obstante, sin datos *in vivo*, es difícil anticipar el efecto del consumo de quinua en pacientes con enfermedad celiaca; por lo tanto, mas estudios incluyendo perfil de aminoácidos (prolina y glutamina), sub fracciones de prolamina, y quinua en estudios *in vivo* serán necesarios para confirmar la inocuidad de la quinua para pacientes con enfermedad celiaca y facilitar su incorporación completa en el mercado de productos libre de gluten (Zevallos *et al.*, 2012).

Hasta ahora, la literatura biomédica registra sólo un caso de alergia a la quinua (Astier *et al.*, 2009). Este caso fue reportado en un hombre de 52 años que desarrolló una seria reacción sistémica, incluyendo

disfagia, disfonía, urticaria generalizada y angioedema después de la ingestión de quinua acompañada de pescado y pan. Los síntomas fueron resueltos con corticosteroides y anti-histamínicos vía intravenosa. La historia clínica del paciente incluyó una reacción alérgica previa a la quinua y rinitis estacional al polen de pastos. El test cutáneo de alergia usando semillas de quinua molidas fue positivo, con un diámetro de irritación de 15 mm, mientras que para el control fue solo de 5 mm, con resultados negativos en el caso de pescado y pan. Extractos de proteínas de quinua (cruda y cocida) y suero de paciente alérgico y no alérgico fueron analizados mediante inmunoblot. El análisis reveló reactividad para Inmunoglobulina E en el suero de paciente alérgico mediante la detección de una banda de 35 kDa, tanto para extractos de proteína de quinua cruda y cocida y sin presencia de banda en las muestras controles de pacientes no alérgicos. Interesantemente, las principales proteínas de almacenamiento en semillas de quinua incluyen globulinas del tipo 11S llamadas “chenopodinas” y una fracción 2S rica en cisteína. Dos grupos heterogéneos de poli péptidos en rango de 30-40 kDa (subunidades ácidas) y 20-25 kDa (unidades básicas) unidas por enlaces disulfuros en la proteína original caracterizan a las proteínas del tipo 11S (Brinegar y Goundan, 1993). De esta manera, la banda cercana a los 35 kDa evidenciada a través de inmunoblot podría pertenecer a la clase de la subunidad ácida de la chenopodina A, la cual es de particular interés en el desarrollo de alimentos funcionales a base a proteínas altamente solubles de semillas de quinua (Astier *et al.*, 2009).

### 3.4 Actividad anti-cancerígena.

El cáncer es conocido por ser un proceso de múltiples fases, el cual emerge a partir de diferentes alteraciones celulares y moleculares (e.g. genéticos y epigenéticos) con propiedades asintomáticas y latentes (Hanahan y Weinberg, 2000; Li *et al.*, 2005; Su *et al.*, 2013). En este contexto, la dieta es considerada un factor de riesgo relacionada con varias enfermedades crónicas, incluyendo el cáncer. Así, varios fitoquímicos dietarios presente en diversos alimentos han mostrado tener efectos quimiopreventivos contra el cáncer, tanto en modelos pre-clínicos usando animales y estudios epidemiológicos en humanos (Wang *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2013). La posible actividad preventiva del consumo de ciertos alimentos frente a los distintos



tipos de cáncer, ha sido revisada en diversos estudios, señalando como compuestos bioactivos responsables de dicha actividad a fitoquímicos tales como: apigenina (perejil), caroteno (zanahoria), curcumina (cúrcuma), cianidina (cerezas), delphinidina (granada), 3,3'-di indolilmetano (bruselas), epigallocatequina galato (EGCG) (té verde), fisetina (fresa), genisteína (soya), licopeno (tomate), naringenina (naranja), fenil isotiocianato (PEITC) (berro), proantocianidina (bayas), pterostilbeno (arándano), quercetina (cebolla), resveratrol (uva), ácido retinoico/retinol (zanahoria), ácido rosmarínico (romero), silibinina (cardo), sulforafano (brócoli), vitamina D3 (hongos comestibles), vitamina E (maravilla) y zerumbona (jengibre), entre otros (Wang *et al.*, 2012); ya sea bloqueando o suprimiendo múltiples mecanismos biológicos relacionados con la carcinogénesis, incluyendo el metabolismo del cáncer, reparación del ADN, proliferación celular, apoptosis, regulación del ciclo celular, procesos de angiogénesis y metástasis (Lee *et al.*, 2013).

La amplia diversidad química de compuestos descritos en quinua ha resultado en un renovado interés en la investigación de estos compuestos, particularmente como un potencial agente fitoterapéutico y quimioterapéutico. En este contexto, Kuljanabhagavad *et al.* (2008), describieron la actividad citotóxica de los compuestos de saponina: ácido 3 beta-[(O-beta-d-glucopiranosil-(1→3)-alfa-l-arabinopiranosil)oxi]-23-oxo-oleano-12-eno-28-oico beta-d-glucopyranoside [1], ácido 3beta-[(O-beta-d-glucopiranosil-(1→3)-alfa-l-arabinopiranosil)oxi]-27-oxo-oleano-12-eno-28-oico beta-d-glucopiranosido [2], ácido 3-O-alfa-l-arabinopiranosil serjánico 28-O-beta-d-glucopiranosil ester [3], y ácido 3-O-beta-d-glucuronopiranosil serjánico 28-O-beta-d-glucopiranosil ester [4] y sus agliconas: ácido 3beta-hidroxi-23-oxo-oleano-12-eno-28-oico [I], ácido 3beta-hidroxi-27-oxo-oleano-12-eno-28-oico [II], y ácido serjánico [III]; en células de cáncer cervical (HeLa) empleando el ensayo colorimétrico MTT [bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolio]. Los efectos citotóxicos de las saponinas 1 y 2 (descritas previamente) fueron muy similares ( $IC_{50} > 100 \mu\text{g/ml}$ ), mientras que las agliconas I y II de estas mismas saponinas resultaron tener un valor de  $IC_{50}$  similar de  $25,4 \mu\text{g/ml}$ . Por su parte, la aglicona hederagenina [VI], con un  $IC_{50}$  de  $15-23 \mu\text{g/ml}$ , mostró ser más potente que el

ácido oleanólico [IV] con un  $IC_{50}$  de  $62-99 \mu\text{g/ml}$ , sugiriendo un efecto citotóxico similar en células de cáncer cervical entre las agliconas I, II y VI debido a la presencia de un grupo aldehído en su estructuras (Kuljanabhagavad *et al.*, 2008). Interesantemente, en este estudio también fue reportada la relación entre apoptosis y el efecto inhibitorio en el crecimiento celular de saponinas bidesmosídicas y sus agliconas en células de adenocarcinoma colorrectal (Caco-2). Para esto se realizó análisis de citometría de flujo en células tratadas con  $100 \mu\text{g/ml}$  de saponinas bidesmosídicas 1-4 y sus agliconas I-III durante 24 horas. Los resultados revelaron que los niveles de apoptosis inducido por las saponinas 1-4 fueron 13,18%, 13,18%, 25,50%, y 26,40%, respectivamente, y aquellos inducido por sus agliconas I-III fueron 51,40%, 51,40%, y 50,23%, respectivamente; correlacionando de esta manera el efecto apoptótico en células Caco-2 con el ensayo de citotoxicidad realizado en células HeLa. Estos resultados indican diferencias significativas en la relación estructura/actividad de los aislados de saponinas bidesmosídicas dependiendo de la naturaleza y posición de grupos funcionales dentro de la estructura de las agliconas (Kuljanabhagavad *et al.*, 2008).

Recientemente, estudios realizados por Gawlik-Dziki *et al.* (2013), evaluaron el potencial nutraceutico de hojas de quinua a través del análisis de su contenido de fenoles y la bioactividad combinada usando un modelo experimental basado en el cultivo celular de dos líneas celulares de cáncer de próstata de rata (MAT-LyLu y AT-2), caracterizadas por presentar diferente potencial metastásico. Cantidades considerables de compuestos fenólicos con actividad anti-oxidante (Cuadro 2 y 3), fueron observados en los extractos de hoja de quinua y fueron relacionados con su efecto inhibitorio en la proliferación celular, migración e invasión en líneas celulares de cáncer de próstata. Los resultados mostraron que tanto el extracto químico como el aquel obtenido después de la digestión simulada en condiciones *in vitro*, ejercieron un efecto inhibitorio en la actividad de la enzima lipoxigenasa, la cual fue paralelamente relacionada con la actividad quelante, anti-oxidante, anti-radical libre y reductora de estos extractos. Estas observaciones indican que los compuestos fenólicos de hojas de quinua pueden también ejercer un efecto quimiopreventivo y anti-carcinogénico interviniendo mecanismos de

señalización intracelular dependiente del estrés oxidativo y ROS mediante efectos sinérgicos. Estos resultados confirman el potencial nutracéutico de hojas de quinua, relevante no solo para el desarrollo del cáncer, sino también para otras afecciones relacionadas con el estrés oxidativo, abriendo nuevas perspectivas para la introducción de hojas de quinua en la dieta normal, al menos como suplemento (Gawlik-Dziki *et al.*, 2013).

#### 4. Observaciones finales y perspectivas futuras.

La quinua ha ganado recientemente importancia en el mundo gracias a sus beneficios nutricionales. El valor nutricional de sus granos ha sido ampliamente reconocido por su proteína de alta calidad, particularmente rica en aminoácidos esenciales y por su contenido de carbohidratos, aceites, minerales y vitaminas. Al mismo tiempo, es considerada una buena fuente de fibra dietaria y de otros compuestos bioactivos tales como polifenoles y triterpenoides. En este contexto, los componentes bioactivos presentes tanto en semillas y hojas de quinua, han sido confirmados en diferentes estudios usando diversas aproximaciones biológicas, poseer efectos anti-colesterolémicos, anti-oxidantes, anti-inflamatorios y anti-carcinogénicos, así como ser inocuos para consumo de pacientes con enfermedad celiaca, representando un alto potencial para su uso en medicina complementaria y alternativa.

Con la emergencia de nuevas tecnologías en el área la investigación química, de la biología molecular y de la farmacología, el uso de la quinua como agente nutracéutico está ganando mayor reconocimiento, sin embargo mayores esfuerzos deberían ser dirigidos para entender en mayor detalle el potencial farmacológico de estos fitoquímicos, su comportamiento farmacocinético y farmacodinámico, perfil metabólico, toxicidad, interacción con otros compuestos, estabilidad de formulaciones, y régimen de dosificación entre otros así como también potenciales polimorfismos que puedan afectar su efectividad terapéutica.

En resumen, la información presentada en el presente capítulo apoyan el potencial de la quinua como suplemento alimenticio que podría enriquecer la dieta normal como fuente de compuestos funcionales relevantes para la reducción de factores de riesgo de enfermedades crónicas abriendo nuevas perspectivas de utilización de la quinua para

la biomedicina.

#### Referencias.

- Aalinkeel R, Bindukumar B, Reynolds J, Sykes D, Mahajan S, Chadha K and Schwartz S (2008). The Dietary Bioflavonoid, Quercetin, Selectively Induces Apoptosis of Prostate Cancer Cells by Down-Regulating the Expression of Heat Shock Protein 90. *Prostate* 68(16): 1773–1789.
- Abugoch LE (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research* 58:1-31
- Ackerman Z, Oron-Herman M, Grozovski M, Rosenthal T, Pappo O, Link G, Sela BA (2005). Fructose-induced fatty liver disease. Hepatic effects of blood pressure and plasma triglyceride reduction. *Hypertension* 45:1012-1018
- Adlercreutz H, Mazur W (1997). Phyto-estrogens and Western diseases. *Ann Med* 29: 95-120.
- Aluko RE and Monu E (2003). Functional and bioactive properties of quinoa seed protein hydrolysates. *J Food Sci* 68: 1254-1258.
- Alvarez-Jubete L, Arendt EK and Gallagher E (2010) Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten free ingredients. *Trends in Food Science and Technology* 21: 106-113.
- Anderson JW, Jones AE and Riddell-Mason S (1994). Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats. *J Nutr* 124: 78-83.
- Asao M and Watanabe K (2010). Functional and Bioactive Properties of Quinoa and Amaranth. *Food Sci Technol Res* 16(2): 163-168.
- Astier C, Moneret-Vautrin DA, Puillandre E, Bihain BE. (2009). First case report of anaphylaxis to quinoa, a novel food in France. *Allergy* 64(5): 819-820.
- Basnet P, Skalko-Basnet N (2011). Curcumin: An Anti-Inflammatory Molecule from a Curry Spice on the Path to Cancer Treatment. *Molecules* 16: 4567-4598.
- Báthori M, Pongrácz Z (2005). Phytoecdysteroids—from isolation to their effects on humans. *Curr Med Chem* 12: 153-172.
- Báthori M, Tóth N, Hunyadi A, Márki A, Zádor E (2008). Phytoecdysteroids and anabolic-androgenic

steroids—structure and effects on humans. *Curr Med Chem* 15: 75-91.

Bergamo P, Maurano F, Mazzarella G, Iaquinto G, Vocca L, Rivelli AR, De-Falco E, Gianfrani C, Rossi M (2011). Immunological evaluation of the alcohol-soluble protein fraction from gluten-free grains in relation to celiac disease. *Mol Nutr Food Res* 55: 1266-70.

Berghofer E and Schoenlechner R (2002). Grain amaranth. P.S. Belton, J.R.N. Taylor (Eds.), *Pseudocereals and less common cereals: Grain properties and utilization potential*, Springer Verlag, Berlin, pp. 219-260.

Berti C, Ballabio C, Restani P, Porrini M, Bonomi F, Iametti S (2004). Immunochemical and molecular properties of proteins in *Chenopodium quinoa*. *Cereal Chem* 81: 275-7.

Bhargava A, Shukla S & Ohri D (2006). *Chenopodium quinoa* – an Indian perspective. *Industrial Crops and Products* 23:73–87.

Bhargava A, Shukla S and Ohri D (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Field Crops Research* 101:104-116.

Bomford R, Stapleton M, Winsor S, Beesley JE, Jessup EA, Price KR, Fenwick GR (1992). Adjuvanticity and ISCOM formation by structurally diverse saponins. *Vaccine* 10: 571-577.

Brady K, Ho Ch-T, Rosen RT, Sang S and Karwe MV (2007). Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa. *Food Chemistry* 100:1209-1216.

Brinegar C, Goundan S. (1993). Isolation and characterization of chenopodin, the 11S seed storage protein of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *J Agric Food Chem* 41: 182-5.

Casini P (2002). Possibilit  di introdurre la quinoa negli ambienti mediterranei. *Informatore Agrario* 27: 29-32.

Chauhan GS, Eskin NAM, Tkachuk R (1992) Nutrients and antinutrients in quinoa seed. *Cereal Chemistry* 69(1): 85-88.

Chen Q, Xia Y, Qiu Z (2006). Effect of ecdysterone on glucose metabolism *in vitro*. *Life Sci* 78: 1108-1113.

Comino I, Real A, de Lorenzo L, Cornell H, Lopez-

Casado MA, Barro F, Lorite P, Torres MI, Cebolla A, Sousa C (2011). Diversity in oat potential immunogenicity: basis for the selection of oat varieties with no toxicity in coeliac disease. *Gut* 60: 915-22.

Cuadrado C, Ayet G, Burbano C, Muzquiz M, Camacho L, Cavieres E, Lovon M, Osagie A, Price KR (1995). Occurrence of saponins and sapogenols in Andean crops. *J Sci Food Agric* 67: 169-172.

De Simone, F, Dini A, Pizza C, Saturnino P & Schettino O (1990). Two flavonol glycosides from *Chenopodium quinoa*. *Phytochemistry* 29: 3690-3692.

De Vincenzi M, Silano M, Luchetti R, Carrat  B, Boniglia C, Pogna NE (1999). Agglutinating activity of alcohol-soluble proteins from quinoa seed flour in celiac disease. *Plant Foods Hum Nutr* 54: 93-100.

Di Sabatino A, Corazza GR (2009). Coeliac disease. *Lancet* 373: 1480-93.

Dinan L, Lafont R. (2006). Effects and applications of arthropod steroid hormones (ecdysteroids) in mammals. *J Endocrinol* 191: 1-8.

Dini I, Tenore GC and Dini A (2010) Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *LWT-Food Science and Technology* 43:447-451.

Dini I, Tenore GC and Dini A (2005). Nutricional and antinutritional composition of Kancolla seeds: an interesting and underexploited Andine food plant. *Food Chemistry* 92: 125-132.

Dini I, Tenore GC & Dini A (2004). Phenolic constituents of Kancolla seeds. *Food Chemistry* 84: 163-168.

Djordjevic TM, Šiler-Marinkovic SS & Dimitrijevic-Brankovic SI (2010). Antioxidant activity and total phenolic content in some cereals and legumes. *International Journal of Food Properties* 14(1): 175-184.

Estrada A, Li B, Laarveld B (1998). Adjuvant action of *Chenopodium quinoa* saponins on the introduction of antibody responses to intragastric and intranasal administered antigens in mice. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* 21:225-236.

Estrada A, Li B, Laarveld B (1999). Adjuvant action of *Chenopodium quinoa* saponins on the induction

of antibody responses to intragastric and intranasal administered antigens in mice. *Comp Immunol Microb* 21: 225-236.

Fleming J and Galwey N (1995). Quinoa (*Chenopodium quinoa*). In: Williams JT (ed) Cereals and pseudocereals. Chapman and Hall, London, pp 3–83.

Foucault A, Mathé V, Lafont R, Even P, Dioh W, Veillet S, Tomé D, Huneau J, Hermier D and Quignard-Boulangé A (2011). Quinoa Extract Enriched in 20-Hydroxyecdysone Protects Mice From Diet-Induced Obesity and Modulates Adipokines Expression. *Obesity* 20(2): 270-7.

Fuentes F & Bhargava A (2011). Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197:124-134.

Gawlik-Dziki U, Świeca M, Sułkowski M, Dziki D, Baraniak B, Czyż J (2013). Antioxidant and anticancer activities of *Chenopodium quinoa* leaves extracts – In vitro study. *Food and Chemical Toxicology* 57: 154-160.

Gee JM, Price KR, Ridout CL, Johnson IT, Fenwick GR (1989). Effects of some purified saponins on transmural potential difference in mammalian small-intestine. *Toxicol In Vitro* 3: 85-90.

Ghosh D, Thejomoorthy P, Veluchamy (1983). Anti-inflammatory and analgesic activities of oleanolic acid 3-/3-glucoside (RDG-1) from *Randia dumetorum* (Rubiaceae). *Indian J Pharmacol* 15:331-342.

Gopalakrishnan A, Xu CJ, Nair SS, Chen C, Hebbar V, Kong AN (2006). Modulation of activator protein-1 (AP-1) and MAPK pathway by flavonoids in human prostate cancer PC3 cells. *Arch Pharm Res* 29: 633-644.

Gorelick-Feldman J, Maclean D, Ilic N, Poulev A, Lila MA, Cheng D, Raskin I (2008). Phytoecdysteroids increase protein synthesis in skeletal muscle cells. *J Agric Food Chem* 56: 3532-3537.

Gorinstein S, Medina Vargas O, Jaramillo N, Arnao Salas I, Martinez Ayala A, Arancibia-Avila P, Toledo F, Katrich E and Trakhtenberg S (2007). The total polyphenols and the antioxidant potentials of some selected cereals and pseudocereals. *Eur. Food Res. Technol* 225(3-4): 321-328.

Grivennikov SI, Greten FR, Karin M (2010) Immunity,

inflammation, and cancer. *Cell* 140(6): 883-99.

Groot MJ (2004). Phyto-estrogenic activity of protein-rich feeds for pigs. Project No. 801 71 947 01. RIKILT – Institute of Food Safety, Wageningen.

Gülçin I, Mshvildadze V, Gepdiremen A, Elias R (2006). The antioxidant activity of a triterpenoid glycoside isolated from the berries of *Hedera colchica*: 3-O-(β-D-glucopyranosyl)-hederagenin. *Phytother Res* 20:130-134.

Han X, Shen T, Lou H (2007). Dietary polyphenols and their biological significance. *International Journal of Molecular Sciences* 8:950-988.

Hanahan D, Weinberg R A (2000). The hallmarks of cancer. *Cell* 100(1): 57-70.

Hirose Y, Fujita T, Ishii T & Ueno N (2010) Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan. *Food Chemistry* 119(4): 1300-1306.

Horn-Ross PL, Barnes S, Lee M, Coward L, Mandel JE, Koo J, John EM, Smith M (2000). Assessing phytoestrogen exposure in epidemiological studies: development of a database (United States). *Cancer Causes Control* 11: 289-298.

Hwang T-L, Wang C-C, Kuo Y-H, Huang H-C, Wu Y-C, Kuo L-M, Wu Y-H (2010). The hederagenin saponin SMG-1 is a natural FMLP receptor inhibitor that suppresses human neutrophil activation. *Biochem Pharmacol* 80: 1190-1200.

Jacobsen SE, Mujica A & Jensen CR (2003) The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Review International* 19:99-109.

Jacobsen SE (2003). The worldwide potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Rev Int* 19(1-2): 167-177.

Jancurová M, Minarovičová L and Dandár A (2009) Quinoa – a Review. *Czech J. Food Sci* 27(2): 71-79.

Jiang Q, Payton-Stewart F, Elliott S, Driver J, Rhodes LV, Zhang Q, Zheng S, Bhatnagar D, Boue SM, Collins-Burow BM, Sridhar J, Stevens C, McLachlan JA, Wiese TE, Burow ME, Wang G (2010). Effects of 7-O substitutions on estrogenic and anti-estrogenic activities of daidzein analogues in MCF-7 breast cancer cells. *J Med Chem* 53: 6153-6163.



- Johnson IT, Gee JM, Price K, Curl C, Fenwick GR (1986). Influence of saponins on gut permeability and active nutrient transport in vitro. *J Nutr* 116: 2270-2277.
- Khan N, Mustafa V and Mukhtar H (2010). Apoptosis by dietary agents for prevention and treatment of prostate cancer. *Endocr Relat Cancer* 17(1): R39-R52.
- Kim YK, Kim RG, Park SJ, Ha JH, Choi JW, Park HJ, Lee KT (2002). In vitro antiinflammatory activity of kalopanaxsaponin A isolated from *Kalopanax pictus* in murine macrophage raw 264.7 cells. *Biol Pharm Bull* 25: 472-476.
- Kizelsztejn P, Govorko D, Komarnytsky S, Evans A, Wang Z, Cefalu WT, Raskin I (2009). 20-Hydroxyecdysone decreases weight and hyperglycemia in a diet-induced obesity mice model. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 296: E433-E439.
- Konishi Y, Arai N, Umeda J, Gunji N, Saeki S, Takao T, Minoguchi R and Kensho G (2000). Cholesterol lowering effect of the methanol insoluble materials from the quinoa seed pericarp. In "Hydrocolloids Part 2," ed. by Nishinari, K., Elsevier Science, B.V., 417-422.
- Kuljanabhadgavad T, Thongphasuk P, Chamulitrat W, Wink M (2008). Triterpene saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. *Phytochemistry* 69: 1919-1926.
- Kuljanabhadgavad T and Wink M (2009). Biological activities and chemistry of saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. *Phytochem Rev* 8:473-490.
- Kumpun S, Maria A, Crouzet S, Evrard-Todeschid N, Girault JP, Lafonta R (2011). Ecdysteroids from *Chenopodium quinoa* Willd., an ancient Andean crop of high nutritional value. *Food Chem* 125:1226-1234.
- Lafont R, Dinan L (2003). Practical uses for ecdysteroids in mammals including humans: an update. *J Insect Sci* 3:7.
- Lee J H, Khor T O, Shu L, Su Z Y, Fuentes F, Kong A N (2013). Dietary phytochemicals and cancer prevention: Nrf2 signaling, epigenetics, and cell death mechanisms in blocking cancer initiation and progression. *Pharmacology & Therapeutics* 137(2): 153-171.
- Li LC, Carroll PR, Dahiya R (2005). Epigenetic changes in prostate cancer: Implication for diagnosis and treatment. *Journal of the National Cancer Institute* 97(2): 103-115.
- Liggins J, Mulligan A, Runswick S, Bingham SA (2002). Daidzein and genistein content of cereals. *Eur. J. Clin. Nutr* 56: 961-966.
- Liu GT, Zheng YL, Chen WH, Chen J, Han ZK (1999). Effect of daidzein fed to pregnant sows on milk production and the levels of hormones in colostrums. *J Nanjing Agric Univ* 22: 69-72.
- Liu J, Henkel T (2002). Traditional chinese medicine (TCM): are polyphenols and saponins the key ingredients triggering biological activities? *Curr Med Chem* 9: 1483-1485.
- Lo FH, Mak NK, Leung KN (2007). Studies on the anti-tumor activities of the soy isoflavone daidzein on murine neuroblastoma cells. *Biomed Pharmacother* 61: 591-595.
- Lutz M, Martínez A and Martínez EA (2013). Daidzein and Genistein contents in seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from local ecotypes grown in arid Chile. *Industrial Crops and Products* 49: 117-121.
- Ma WW, Heinsteins PF, McLaughlin JL (1989). Additional toxic, bitter saponins from the seeds of *Chenopodium quinoa*. *J Nat Prod* 52:1132-1135.
- Mahato SB, Nandy AK (1991). Triterpenoid saponins discovered between 1987 and 1989. *Phytochemistry* 30:1357-1390.
- Mahato S and Kundu P (1994). <sup>13</sup>C NMR spectra of pentacyclic triterpenoides – a compilation and some salient features. *Phytochemistry* 37: 1517-1575.
- Mastebroek HD, Limberg H, Gilles T and Marvin HJP (2000). Occurrence of saponins in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of the Sciences of Food and Agriculture* 80, 152-156.
- Meyer BN, Heinsteins PF, Burnouf-Radosevich M, Delfel NE, McLaughlin JL (1990). Bioactivity-directed isolation and characterization of quinoside A: one of the toxic/bitter principles of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J Nat Prod* 38: 205-208.
- Miranda M, Vega-Gálvez A, Martinez EA, López J, Marín R, Aranda M and Fuentes F (2013). Influence of contrasting environment on seed composition of two quinoa genotypes: nutritional and functional

- properties. *Chilean Journal of Agricultural Research* 73(2): 108-116.
- Miranda MA, Vega-Gálvez A, Quispe-Fuentes I, Rodríguez MJ, Maureira H and Martínez EA (2012). Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72:175-181.
- Mizui F, Kasai R, Ohtani K, Tanaka O (1988). Saponins from bran of quinoa, *Chenopodium quinoa* Willd. I. *Chem Pharm Bull* 36: 1415-1418.
- Mizui F, Kasai R, Ohtani K, Tanaka O (1990) Saponins from bran of quinoa, *Chenopodium quinoa* Willd. II. *Chem Pharm Bull* 38: 375-377.
- Moreau R, Whitaker B and Hick K (2002). Phytosterols, phytostanols, and their conjugates in foods: Structural diversity, quantitative analysis, and health-promoting uses. *Prog Lipid Res* 41(6): 457-500.
- Mujica A (1994). Andean grains and legumes. In: Bermejo JEH, Leon J (eds) *Neglected crops: 1492 from a different perspective*. Plant production and protection. FAO, Rome, pp 131-148.
- Mujica A, Jacobsen SE, Ezquierdo J, Marathe J (2001). Resultados de la Prueba Americana y Europea de la Quinoa. FAO, UNA-Puno, CIP, pp. 51.
- Nishibe S, Takenaka T, Fujikawa T, Yasukawa K, Takido M, Morimitsu Y, Hirota A, Kawamura T and Noro Y (1996). Bioactive phenolic compounds from *Catharanthus roseus* and *Vinca minor*. *Natural Medicines* 50: 378-383.
- Nsimba RY, Kikuzaki H & Konishi Y (2008). Antioxidant activity of various extracts and fractions of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus* spp. seeds. *Food Chemistry* 106(2): 760-766.
- Oakenfull D, Sidhu GS (1990). Could saponins be a useful treatment for hypercholesterolemia. *Eur J Clin Nutr* 44: 79-88.
- Ogawa H, Watanabe K, Mitsunaga T and Meguro T (2001) Effect of quinoa on blood pressure and lipid metabolism in diet-induced hyperlipidemic spontaneously hypertensive rats (SHR). *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 54: 221-227.
- Pasko P, Sajewicz M, Gorinstein S and Zachwieja Z (2008). Analysis of Selected Phenolic Acids and Flavonoids in *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* Seeds and Sprouts by HPLC. *Acta Chromatographica* 20: 661-672.
- Pasko P, Barton H, Zagrodzki P, Gorinstein S, Foltá M (2009). Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry* 115: 994-998.
- Pasko P, Barton H, Zagrodzki P, Izewska A, Krosniak M, Gawlik M, Gawlik M and Gorinstein S (2010a). Effect of Diet Supplemented with Quinoa Seeds on Oxidative Status in Plasma and Selected Tissues of High Fructose-Fed Rats. *Plant Foods Hum Nutr* 65:146-151.
- Pasko P, Zagrodzki P, Barton H, Chlopicka J and Gorinstein S (2010b). Effect of Quinoa Seeds (*Chenopodium quinoa*) in Diet on some Biochemical Parameters and Essential Elements in Blood of High Fructose-Fed Rats. *Plant Foods Hum Nutr* 65:333-338.
- Pulvento C, Riccardi M, Lavini A, D'andria R, Iafelice G and Marconi E (2010). Field trial evaluation of two *Chenopodium quinoa* genotypes grown under rain-fed conditions in a typical Mediterranean environment in south Italy. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196: 407-411.
- Quillez J, Garcila-Lorda P, Salas-Salvador J (2003). Potential uses and benefits of phytosterols in diet: Present situation and future directions. *Clin Nutr* 22:343-351.
- Repo de Carrasco R y Encina Zelada C (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Rev Soc Quím Perú* 74(2): 85-99.
- Repo-Carrasco R, Hellström J, Pihlava J and Mattila P (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry* 120: 128-133.
- Repo-Carrasco R, Espinoza C and Jacobsen SE (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Rev Int* 19, 179-189.

- Repo-Carrasco-Valencia RAM and Serna LA (2011). Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. *Ciênc Tecnol Aliment* 31(1): 225-230.
- Reuter S, Gupta SC, Chaturvedi MM, Aggarwal BB (2010). Oxidative stress, inflammation, and cancer: how are they linked?. *Free radical biology & medicine* 49(11): 1603-16.
- Roubille C, Martel-Pelletier J, Davy J, Haraoui B, Pelletier J (2013). Cardiovascular adverse effects of anti-inflammatory drugs. *Antiinflamm Antiallergy Agents Med Chem* 12: 55-67.
- Ruales J and Nair B (1993a). Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Food Chem* 48:131-136.
- Ruales J and Nair B (1993b). Saponins, phytic acid, tannins and protease inhibitors in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) seeds. *Food Chem* 48: 137-43.
- Ruales J and Nair B (1994). Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plant Foods Hum Nutr* 45:223-246.
- Ryan E, Galvin K, O'Connor T, Maguire A and O'Brien N (2007). Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plant Foods Hum Nutr* 62: 85-91.
- Scalbert A, Manach C, Morand C, Rémésy C (2005). Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45: 287-306.
- Schuppan D, Junker Y, Barisani D (2009). Celiac disease: from pathogenesis to novel therapies. *Gastroenterology* 137: 1912-33.
- Shahidi F, Naczek M (1995). Food phenolics. Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, USA.
- Song WO, Chun OK, Hwang I, Shin HS, Kim BG, Kim KS, Lee SY, Shin D, Lee SG (2007). Soy isoflavones as safe functional ingredients. *J Med Food* 10: 571-580.
- Sosa S, Morelli CF, Tubaro A, Cairolì P, Speranza G, Manitto P (2007). Anti-inflammatory activity of *Maytenus senegalensis* root extracts and of maytenoic acid. *Phytomedicine* 14: 109-114.
- Stuardo M, San Martín R (2008). Antifungal properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) alkali treated saponins against *Botrytis cinerea*. *Ind Crops Prod* 27: 296-302.
- Su ZY, Shu L, Lee JH, Fuentes F, Wang H, Wu TY, Yu S and Kong AH (2013). Perspective on Nrf2, epigenomics and cancer stem cells in cancer chemoprevention using dietary phytochemicals and traditional Chinese medicines. *Progress in Chemistry* 25(9): 1526-1543.
- Takao T, Watanabe N, Yuhara K, Itoh S, Suda S, Tsuruoka Y, Nakatsugawa K, Konishi Y (2005). Hypocholesterolemic effect of protein isolated from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Food Science and Technology Research* 11(2): 161-167.
- Tapia M, Gandarillas H, Alandía S, Cardozo A, Mujica R, Ortiz R, Otazu J, Rea J, Salas B y Sanabria E (1979). Quinoa y kañiwa: Cultivos andinos. CIID-IIICA. Bogotá.
- Tappy L, Le K, Tran Ch, Paquot N (2010). Fructose and metabolic diseases: New findings, new questions. *Nutrition* 26(11-12): 1044-9.
- Taylor JRN and Parker ML (2002). Quinoa. P.S. Belton, J.R.N. Taylor (Eds.), *Pseudocereals and less common cereals: Grain properties and utilization*, Springer Verlag, Berlin. pp. 93-122.
- Tjón JM, van Bergen J, Koning F (2010). Celiac disease: how complicated can it get? *Immunogenetics* 62: 641-51.
- Torrez MO, Guzmán AA, and Carvajal R (2002). Valoración nutricional de 10 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del altiplano boliviano. *BIOFARBO* 10: 55-60.
- Truswell AS (1995). Dietary fibre and blood lipids. *Curr Opin Lipidol* 6: 14-19.
- Tsukamoto C, Shimada S, Igita K, Kudou S, Kokubui M, Okubo K, Kitamura K (1995). Factors affecting isoflavones content in soybean seeds: Changes in isoflavones, saponins, and composition of fatty acids at different temperatures during seed development. *J Agric Food Chem* 43: 1184-1192.
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (2008). USDA Database for the Isoflavone Content of Selected Foods, Release 2.0. Nutrient Data Laboratory Home Page: <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata/isoflav> (accesado en Octubre 2013).
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. (2013a). USDA National Nutrient Database

for Standard Reference, Release 26. Nutrient Data Laboratory Home. Page, <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/nd> (accesado en Octubre 2013).

U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (2013b). USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods, Release 3.1. Nutrient Data Laboratory Home Page: <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata/flav> (accesado en Octubre 2013).

United Nations. (2011). Draft resolution II, International Year of Quinoa, 2013. Agriculture development and food security, Report of the Second Committee. A/RES/66/446. 21 p. Disponible en [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/66/446](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/66/446) (accesado en Octubre 2013).

United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) (2011). Quinoa: an ancient crop to contribute to world food security. Regional Office for Latin America and the Caribbean. 55 pp.

Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L & Martínez EA (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2541-2547.

Verza SG, Silveira F, Cibulski S, Kaiser S, Ferreira F, Gosmann G, Roehe PM, Ortega GG (2012). Immunoadjuvant Activity, Toxicity Assays, and Determination by UPLC/Q-TOF-MS of Triterpenic Saponins from *Chenopodium quinoa* Seeds. *J Agric Food Chem* 60: 3113-3118.

Vincken JP, Heng L, de Groot A, Gruppen H (2007). Saponins, classification and occurrence in the Plant Kingdom. *Phytochemistry* 68: 275-297.

Wang H, Khor TO, Shu L, Su ZY, Fuentes F, Lee JH, Kong AN (2012). Plants vs. Cancer: A review on natural phytochemicals in preventing and treating cancers and their druggability. *Anticancer Agents Med Chem* 12(10): 1281-1305.

Wang X, Liu R, Zhang W, Zhang X, Liao N, Wang Z, Li W, Qin X, Hai C (2013). Oleanolic acid improves hepatic insulin resistance via antioxidant, hypolipidemic and anti-inflammatory effects. *Mol Cell Endocrinol* 376: 70-80.

Wiert C (2007). Anti-inflammatory plants. In: Hackworth J (ed) *Ethnopharmacology of medicinal plants Asia and the Pacific*. Humana Press, pp 1-55.

Wijngaard HH and Arendt EK (2006). Buckwheat.

*Cereal Chemistry* 83(4): 391-401.

Wink M (2004). Phytochemical diversity of secondary metabolites. *Encyclopedia of plant & crop science*. Marcel Dekker, New York, pp 915-919.

Woldemichael GM, Wink M (2001). Identification and biological activities of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa*. *J Agric Food Chem* 49:2327-2332.

Wood S, Lawson L, Fairbanks D, Robison L, Andersen W (1993). Seed lipid content and fatty acid composition of three quinoa cultivars. *J Food Comp Anal* 6:41-44.

Ye L, Chan MY, Leung LK (2009). The soy isoflavone genistein induces estrogen synthesis in an extragonadal pathway. *Mol Cell Endocrinol* 302(1): 73-80.

Zevallos VF, Ellis HJ, Suligoj T, Herencia LI, Ciclitira PJ (2012). Variable activation of immune response by quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) prolamins in celiac disease. *Am J Clin Nutr* 96: 337-44.

Zhang RQ, Han ZK, Chen J, Zhang CL (1995). Daidzein diet promotes mammary gland development and lactation in rat. *J Zoology* 4: 332-338.

Zhu N, Sheng S, Li D, Lavoie EJ, Karwe MV, Rosen RT and Ho CT (2001). Antioxidative flavonoid glycosides from quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Lipids* 8: 37-44.



## CAPÍTULO: 3.6.

## TÍTULO: QUINUA, ENFERMEDAD CELÍACA Y LA DIETA SIN GLUTEN

\*Autores para correspondencia: Victor ZEVALLOS <[vfzevallos@yahoo.co.uk](mailto:vfzevallos@yahoo.co.uk)> y Paul CICLITIRA <[paul.ciclitira@kcl.ac.uk](mailto:paul.ciclitira@kcl.ac.uk)>

V. F. ZEVALLOS<sup>a</sup>, L. I. HERENCIA<sup>b</sup>, P. J. CICLITIRA<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ciencias de la Nutrición, Gastroenterología, King's College de Londres, Reino Unido.

<sup>b</sup> Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Madrid, España.

## Resumen

La quinoa es un cultivo andino con múltiples beneficios agronómicos, nutricionales, e industriales. La enfermedad celíaca (EC) se caracteriza por una respuesta inmune exagerada a las proteínas del gluten, afectando histológicamente al intestino delgado. El tratamiento consiste en seguir una dieta libre de gluten (DLG) de por vida.

La quinoa tiene un contenido mínimo de gluten y un vínculo filogenético distante con los cereales que contienen gluten (trigo, centeno, y cebada), lo que ha motivado a considerar este grano como un producto naturalmente libre de gluten, apto para pacientes con EC. Sin embargo, existe muy pocos estudios científicos que avalen esta teoría, por lo tanto el presente capítulo tiene por objeto revisar la literatura científica en relación a la enfermedad celíaca y la quinoa.

Los primeros estudios *in vitro* examinaron la idoneidad de la quinoa para pacientes con EC utilizando la actividad aglutinante de células indiferenciadas de leucemia mieloide (de Vincenzi et al. 1999), midiendo la concentración de péptidos celíaco-tóxicos (Berti et al. 2004), y analizando la reactividad inmune en estudios de proliferación de células T y explantes de cultivos de órgano (Bergamo et al. 2011). La limitación principal de estos estudios fue el uso de un cultivar no descrito.

Recientemente, nosotros hemos identificado cultivares de quinoa con péptidos que potencialmente tienen la capacidad de activar inmunológicamente células T CD4+ específicas de gliadina y biopsias de duodeno en pacientes celíacos. Los estudios *in-vivo* son casi inexistentes, con la excepción de una revisión retrospectiva del historial dietético de pacientes que consumen quinoa (Lee et al. 2009) y nuestro reciente estudio *in vivo* (Zevallos et al. 2014) que muestra que el consumo de quinoa a corto plazo no solo es tolerado positivamente por pacientes celíacos sino que también podría tener un efecto hipocolesterolémico y por lo tanto ser relevante para pacientes con riesgo de obesidad.

En conclusión, los resultados de los estudios científicos indican que algunos cultivares de quinoa tienen pequeñas cantidades de proteínas similares al gluten con capacidad de estimular el sistema inmune pero no empeoran la enfermedad celíaca al ser consumidas como parte de la DLG. Esta claro que hace falta mas estudios de investigación que evalúen los efectos del consumo de quinoa a largo plazo pero de acuerdo a la información actual, podemos decir que la quinoa puede ser consumida sin ningún peligro para la salud de los enfermos celíacos.

Palabras clave: quinoa, enfermedad celíaca, dieta libre de gluten

## 1. Introducción.

El principal tratamiento para los pacientes celíacos es seguir una estricta dieta libre de gluten (DLG) que consiste en evitar cereales como el trigo, el centeno y la cebada. La DLG permite que la mucosa intestinal se recupere pero las transgresiones dietéticas de gluten provocan la activación de mecanismos inmunopatológicos que evitan esta recuperación. Los productos libres de gluten son fabricados principalmente con harinas de maíz, arroz, patata y mijo, afectando su palatabilidad, disponibilidad, valor nutricional y precio. Nuevos ingredientes que mejoren cualquiera de estos parámetros, contribuirían a mejorar la DLG, siempre y cuando tengan niveles mínimos de gluten y sean apropiados para las personas con la EC. En el presente capítulo exploraremos la evidencia científica que apoya la incorporación de la quinoa como parte de la DLG.

## 2. Enfermedad celíaca.

La enfermedad celíaca (EC) es una enfermedad autoinmune multiorgánica que afecta principalmente la arquitectura vellosa del intestino delgado proximal en individuos genéticamente predispuestos. La EC fue descrita por primera vez por Areteo, 200 DC, como una síndrome malabsortivo con diarrea crónica (Thomas, 1945). La EC se caracteriza por una respuesta inmune exagerada tras la ingesta de gluten, proteínas de almacenamiento de semillas, en cereales (trigo, cebada, y centeno). Los típicos síntomas gastrointestinales incluyen diarrea, distensión abdominal, vómitos, y dolor abdominal. El único tratamiento efectivo es mantener una estricta dieta libre de gluten (DLG) que ayuda a la recuperación de la mucosa intestinal dañada. Las transgresiones dietéticas de gluten pueden causar un relapso de síntomas, evitando que la mucosa se recupere.

### 2.1 Prevalencia.

La prevalencia de la EC en adultos europeos es aproximadamente 1 en 100, en EE.UU. 1 en 133 (Fasano et al. 2003), en Australia, Nueva Zelanda y Oceanía, las cifras son parecidas a Europa (Logan y Bowlus, 2010). Otras regiones (Japón, China) donde la EC era históricamente rara, han empezado a informar de nuevos casos (Wu et al. 2010). En el Norte de África, los niños de origen árabe-berebere que viven en el Sahara Occidental tenían un 5.6% de prevalencia de anticuerpo antiendomio

(Catassi et al. 1999) y 2.6% anti transglutaminasa tisular en México, indicando que la EC podría ser poco reconocida en esos territorios (Remes-Troche et al. 2006).

### 2.2 Patogenia.

Prácticamente todos los pacientes celíacos tienen alelos heterodiméricos HLA clase II que codifican HLA-DQ2 o DQ8; estas moléculas expresadas en células presentadoras de antígenos tales como macrófagos, células dendríticas y células B, presentan péptidos de gluten a las células CD4+T en la lámina propia. Esta presentación activa la vía de las células T auxiliares, que luego aumentan la secreción de interferón- $\gamma$  (INF- $\gamma$ ) que contribuye a la expansión de células T citotóxicas, fibroblastos y la liberación de metaloproteasas para degradar la matriz extracelular de los enterocitos en la lámina propia (Daum et al. 1999; Sollid 2002)

Además, estos efectos pueden ser aumentados por la desamidación de péptidos, un proceso mediado por la enzima transglutaminasa tisular II (TG2) que aumenta el número de residuos con carga negativa al convertir la glutamina en ácido glutámico (Molberg et al. 1998). El número de residuos de anclaje con carga negativa es muy importante para las moléculas HLA que tienen sitios de unión de péptidos diseñados específicamente para acomodar este tipo de residuos. Por otra parte, la posición de los aminoácidos afectados por la desamidación y la presencia de residuos de prolina resistentes a las enzimas digestivas también contribuyen a un aumento en la antigenicidad (Shan et al. 2002; Vader et al. 2002).

La activación innata de monocitos, macrófagos y células dendríticas por proteínas del gluten y proteínas ajenas al gluten por medio de las diferentes vías (perforina, granzima, y Fas/FasL) facilita la actividad citotóxica de los linfocitos intraepiteliales (LIE) en el epitelio del duodeno (Junker et al. 2009), induce la expresión de moléculas MICA clase I no clásicas en el epitelio intestinal que actúan sobre las células asesinas naturales y las células T (Salvati et al. 2005) e incrementan la producción de interleuquina15 (IL-15) epitelial. La IL-15 tiene un papel fundamental en la activación de respuestas inmunes innatas y adaptativas, es un factor de crecimiento importante para LIE, bloquea las vías inmunosupresoras y podría actuar junto a la IL-21

para reforzar la inmunidad innata (Maiuri et al. 2001).

### 2.3 Manifestaciones clínicas.

La típica manifestación clínica de EC en adultos incluye malabsorción generalizada, pérdida de peso y diarrea que puede ser continua, intermitente, o alternada con periodos de estreñimiento. Signos atípicos que se están volviendo más predominantes incluyen índices de masa corporal (IMCs) sobre 25, ausencia de diarrea, lasitud vaga, dolor abdominal, hinchazón y cansancio (Dickey y Bodkin 1998; Lo et al. 2003). En niños los síntomas típicos como anorexia, vómitos, y anemia se observan durante los primeros meses de vida, seguidos de pérdida del apetito, retraso en el crecimiento, problemas de comportamiento, distensión abdominal, baja estatura, desgaste muscular y defectos en el esmalte durante los primeros años (Aine et al. 1990). Por otra parte, casos más leves caracterizados por la ausencia parcial de síntomas también se están volviendo cada vez más comunes (Rodrigues y Jenkins, 2006). La EC es una condición compleja asociada a muchas enfermedades, principalmente enfermedades autoinmunes, pero también trastornos reproductivos, neurológicos, y dermatológicos.

La falta de respuesta a una DLG en pacientes con EC después de una exhaustiva revisión dietética e histológica es una indicación temprana de enfermedad celíaca refractaria (ECR). Su prevalencia es desconocida, pero es probable que afecte a un 5% de la población (Tack et al. 2010). La ECR puede ser dividida en tipo I, con linfocitos intraepiteliales (LIEs) fenotípicamente normales, y tipo II, con LIEs anormales que se caracterizan por expresar CD3 citoplásmico, pero a los que le falta la expresión de los marcadores de células T CD3, CD84 y los receptores de células T (Verbeek et al. 2008) que pueden desarrollarse en un linfoma de células T asociado a enteropatía (LTAE).

### 2.4 Diagnóstico

Los síntomas gastrointestinales leves y la predisposición genética podrían ser una indicación inicial de EC que se puede evaluar con pruebas serológicas. El diagnóstico generalmente se realiza sobre la base de una biopsia duodenal anormal en una dieta que contiene gluten y una mejora

histológica posterior después de seguir una DLG. Sin embargo, el espectro más amplio de la EC requiere un examen cuidadoso y la disposición de revisar el diagnóstico más adelante a la luz de los avances clínicos y la investigación.

La principal prueba serológica es el anticuerpo endomisial IgA (EMA) y la prueba de ELISA IgA anti-tTG con una alta especificidad (95 a 99%), sensibilidad (90 a 93%) y buena correlación con el grado de daño a la mucosa (Stern y Grupo de trabajo sobre cribado serológico de la enfermedad celíaca 2000). Hace poco se demostró que los péptidos de gliadina desamidada (DGP) son de valor diagnóstico (Volta et al. 2010), aunque un meta análisis sugirió que la prueba de anticuerpos tTG supera a la DGP (Lewis y Scott 2010). Sin embargo, el uso de inmunoensayo multiplex (MIA) para medir un panel de tTG, y pruebas DGP de IgG e IgA podrían reducir el tiempo y costo, en particular para pacientes de EC con deficiencias de IgA, pero se requiere más estudios de investigación para determinar su eficacia en un entorno clínico.

La evaluación histológica del intestino delgado sigue siendo la norma de oro en el diagnóstico de la enfermedad celíaca. La lesión celíaca afecta predominantemente a la mucosa del duodeno proximal con disminución de daños hacia la parte distal. Se necesitan múltiples biopsias utilizando fórceps de tamaño estándar debido a la naturaleza irregular de los cambios en las vellosidades (Bonamico et al. 2002; Siegel et al. 1997). En 1992 Marsh clasificó la progresión histológica de la EC en cinco etapas según su severidad: lesiones pre-infiltrativas, infiltrativas, hiperplásicas, destructivas, e hipoplásicas (atróficas) (Marsh 1992). El examen de biopsias entrega una ventaja diagnóstica clara sobre las pruebas serológicas, pero podrían surgir problemas cuando las mediciones se toman de biopsias mal orientadas, especialmente en pacientes con predisposición genética, sin un diagnóstico claro y con una estructura mucosa cuasi-normal.

## 3. Dieta libre de gluten.

El tratamiento para la EC desde 1950 es seguir una estricta dieta libre de gluten (DLG) de por vida, lo que mantiene la estructura normal de la mucosa intestinal, y reduce el riesgo de complicaciones y la tasa de mortalidad en pacientes celíacos (Nachman

et al. 2010; West et al. 2004). La DLG incluye comidas sin gluten como son las frutas, verduras, carnes no procesadas, pescados y aves de corral. Los productos como la pasta, el pan, los cereales para el desayuno, las galletas y bocadillos que generalmente se fabrican con harinas de cereales que contienen gluten (trigo, cebada, y centeno) son reemplazados por harinas de cereales libres de gluten como maíz, arroz, mijo, trigo sarraceno, y sorgo. La adhesión a la DLG depende principalmente de factores tales como palatabilidad, disponibilidad, la edad y el precio. Los alimentos que contienen fuentes “ocultas” de gluten, tales como espesantes de trigo, malta de cebada con niveles inseguros de gluten y etiquetas ambiguas también afectan al cumplimiento con la DLG (Lerner 2010).

### 3.1 Gluten.

Gluten es un término genérico para identificar las proteínas de almacenamiento de cereales tales como el trigo, la cebada, el centeno y la avena. Los granos de trigo pueden ser separados en salvado, germen, y endospermo. La proteína dentro de la parte del endospermo del grano de trigo puede ser subdividida según su solubilidad en agua, sal, alcohol y álcalis en albúminas, globulinas, prolaminas y gluteninas respectivamente (Osborne 1907).

Las prolaminas son proteínas de almacenamiento solubles en alcohol caracterizadas por su contenido más alto de prolina y glutamina con un peso molecular de entre 10 a 100 kDa (Hilu y Esen 1988). Las prolaminas son una fuente importante de nitrógeno, azufre, y carbono para el embrión en desarrollo. Se les asigna un nombre de acuerdo al cereal de origen, es decir, las prolaminas del trigo son conocidas como gliadinas, las de cebada como hordeinas y las del centeno como secalinas. Según su movilidad electroforética decreciente, las gliadinas pueden dividirse en gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\omega$ . Basado en las secuencias de aminoácidos N-terminales las gliadinas se pueden clasificar en  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\omega$ .

Las gluteninas consisten en subunidades solubles en alcohol que forman polímeros insolubles en alcohol. Estas subunidades son estabilizadas por enlaces disulfidos intercatenarios y han sido clasificadas según su movilidad electroforética en peso molecular alto (HMW), peso molecular medio (MMW) y grupos de peso molecular bajo

(LMW), que es el grupo principal (Shewry y Tatham 1990; Wieser 1994). Las proteínas de estos grupos pueden dividirse además en dos diferentes tipos sobre la base de homologías de secuencia, el grupo LMW y el grupo HMW que contiene subunidades de glutenina HMW (HMW-GS) (trigo), secalinas HMW (centeno) y D-hordeinas (cebada). Las HWM-GS son las proteínas que contribuyen principalmente a la formación de masa de pan; este grupo de proteínas se subdivide además en las subfracciones 1Dy10, 1Dx5, 1Dx4, y 1Dy9. El centeno y la cebada tienen subfracciones de glutenina HMW equivalentes pero son menos adecuadas para la formación de masa de pan.

### 3.2 Cereales que afectan la enfermedad celiaca.

Los cereales que afectan la EC son parte de la familia *Gramineae*, también conocida como *Poaceae* debido a su asociación con el género tipo *Poa*. Esta familia incluye 12 subfamilias, de las cuales dos son más relevantes a la enfermedad celíaca. La familia *Pooidae* que incluyen trigo, centeno y cebada (dañinos para pacientes celíacos) y la familia *Panicoidae* que incluye el maíz, mijo y sorgo (aptos para la DLG) (Bracken et al. 2006; Kasarda 1994). Para determinar los cereales que afectan a la enfermedad celiaca, se han realizado extensos estudios sobretodo con trigo pero también cebada y centeno. Sin embargo, para determinar los cereales que no afectan a los EC, se ha utilizado la clasificación taxonómica (Kasarda 1994). Las plantas monocotiledóneas, miembros de la familia *Gramineae* y de la tribu *Triticeae* (trigo, cebada y centeno) fueron consideradas dañinas y las de otras tribus (maíz, arroz, teff), se asumieron seguras para los pacientes celíacos, por lo tanto la quinoa, una planta dicotiledónea de la familia *Chenopodiaceae*, también fue considerada segura para los pacientes celíacos.

## 4. Dieta libre de gluten y la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow)

La idoneidad nutricional de la DLG ha sido disputada en varias ocasiones, ya que la eliminación del trigo, cebada y centeno reduce la ingesta dietética de minerales y vitaminas, aumentando el riesgo de deficiencia nutricional en pacientes celíacos (Gray 2006). Otros estudios encontraron que el contenido de vitaminas de los cereales libres de gluten puede dejar a los pacientes con EC vulnerables a



la deficiencia de folato (Thompson 2006b) y que la DLG tradicional era nutricionalmente deficiente en comparación con una dieta regular, afectando negativamente el estado vitamínico a largo plazo (Hallert et al. 2002).

La creciente demanda por productos alimenticios e ingredientes alternativos para suplementar el valor nutritivo de la DLG ha dirigido a los pacientes y a la industria a buscar alimentos como los granos andinos. Estos cultivos tienen múltiples aplicaciones agroindustriales y nutricionalmente contienen altas cantidades de carbohidratos, proteínas, vitaminas, y minerales. Los principales granos andinos son la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*).

Su adaptabilidad a diferentes ambientes es otra ventaja, por ejemplo, la quinoa obtuvo un rendimiento moderado en Europa, con niveles de producción de 2 a 3.8 toneladas por hectárea en pruebas de campo, sugiriendo que podría convertirse en un cultivo alternativo sustentable para la agricultura europea (Aufhammer et al. 1995; Herencia y Alia 1999; Jacobsen et al. 1994).

La quinoa emerge como un potencial nuevo cultivo en varias regiones del mundo debido a sus aplicaciones agronómicas, nutricionales, e industriales. Una de las características que destaca su valor desde el punto de vista nutricional es la cantidad y calidad de sus proteínas. La quinoa tiene un contenido elevado de proteína y un perfil de aminoácidos equilibrado comparado con la mayoría de cereales (Drzewiecki et al. 2003; Ruales y Nair 1992). Las proteínas de la quinoa se pueden clasificar en albúminas, globulinas, prolaminas y gluteninas tras la extracción secuencial en diversos solventes (Prakash y Pal 1998). El principal tipo de proteínas son las albúminas y globulinas (44-77%); las prolaminas son menos prevalentes (0,5 a 7%) (Lindenboom 2005).

Basado en su lejana relación taxonómica con el trigo y sus bajos niveles de prolaminas, se asume que es poco probable que la quinoa dañe el intestino de pacientes celíacos y, por lo tanto, también se asume que se podría añadir a la DLG. Sin embargo, sobre la base del conocimiento actual, esta suposición no se ve apoyada por datos experimentales fuertes, lo que incita a la pregunta de si las prolaminas de

la quinoa efectivamente no afectan la enfermedad celíaca y si son una adición segura a la DLG, por lo tanto hasta que estas preguntas se aclaren satisfactoriamente, la quinoa y otros granos andinos no serán recomendados oficialmente como parte de la DLG (Farrell y Kelly 2002; Nicolas et al. 2003).

Además, una encuesta de 63 organizaciones de celíacos y 42 médicos demostró que hay una gran preocupación por la falta de estudios que avalen la idoneidad de cultivos nuevos como la quinoa en la DLG (Thompson 2000a). Debido a estas razones, existe la posibilidad de controversia y malos entendidos entre los profesionales de la salud, y como resultado, la quinoa será continuamente excluida de las diversas listas de productos recomendados para pacientes celíacos, a menos que se presenten sólidas pruebas científicas.

## 5. Evaluación inmunoquímica de las prolaminas de la quinoa.

El número limitado de plantas con propiedades parecidas a cereales celíaco-tóxicos (trigo, centeno, y cebada) ha dado lugar a la búsqueda de productos alternativos que reemplacen estos cereales. La naturaleza hipoalergénica de la quinoa y su imagen “orgánica” ha llevado a recomendar la quinoa como una fuente de proteína vegetal para propósitos dietéticos especiales tales como una dieta libre de gluten (DLG).

Todos los nuevos productos que se añadan a la DLG necesitarían pruebas estrictas que confirmen su idoneidad, pero para facilitar su incorporación, se suele hacer una evaluación relativamente simple y rápida que consiste en medir el nivel de gluten y evaluar el origen taxonómico de la planta en cuestión. Usando este sistema, se determinó que la quinoa no tiene niveles altos de gluten y que podría ser agregada a la DLG. Sin embargo, el nivel de prolaminas en la quinoa es altamente variable dependiendo del cultivar y el ambiente donde se cultiva la planta (Herencia y Alia 1999). Además, la clasificación taxonómica es sólo una guía basada en el origen taxonómico de las plantas monocotiledóneas. Ya que la quinoa es una planta dicotiledónea, esta guía debería considerarse como menos aplicable.

### 5.1 Propiedades inmunoquímicas de las proteínas de quinoa.

Berti et al. (2004) obtuvieron granos de quinoa de la Asociación Nacional de Productores de Quinoa (Anapqui, Bolivia) para analizar la cantidad de proteína parecida a la gliadina y la reactividad inmunoquímica de fracciones proteicas extraídas de forma secuencial. El perfil de proteínas de cada extracto fue analizado por electroforesis en gel de poliacrilamida con dodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE) en condiciones reductoras, inmunotransferencia con suero de pacientes celíacos o anticuerpo antigliadina policlonal de conejo, y el contenido de gliadina fue medido por un ensayo de inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA).

La inmunoreactividad de las proteínas de quinoa fue muy baja con el anticuerpo antigliadina comercial y con el suero de un paciente celíaco y fue comparable a la de las proteínas en la harina libre de gluten (control negativo). La única banda débilmente positiva detectada por anticuerpos del suero humano (IgA o IgG) podría atribuirse a la reactividad cruzada con una proteína que también está presente en las harinas libres de gluten.

El contenido de gluten en la harina de quinoa fue medido utilizando un kit ELISA comercial basado en anticuerpos monoclonales contra las  $\omega$ -gliadinas resistentes al calor (Skerrit y Hill 1991). El contenido de proteínas similares a la gliadina fue evaluado también en harinas obtenidas de otros granos (soja, trigo sarraceno, avena, y maíz). Una muestra de trigo fue el control positivo. Los estándares de gliadina cubren el rango de 2-20 ng de gliadina. La soja y maíz mostraron un contenido de gluten por debajo de los límites de detección del ensayo. El contenido de gluten de la quinoa ( $1.6 \pm 0.6$  mg/kg) fue menos de la mitad que en el trigo sarraceno ( $4.2 \pm 0.2$  mg/kg.). Berti y colaboradores concluyeron que la quinoa podría ser una elección segura para la producción de productos libres de gluten, por lo menos desde un punto de vista inmunoquímico. Sin embargo, sólo incluyeron un cultivar desconocido y probaron esta muestra utilizando anticuerpos monoclonales en contra de las  $\omega$ -gliadinas resistentes al calor.

## 5.2 Prolaminas de 15 cultivares de quinoa.

Nosotros también determinamos el nivel de prolaminas de quinoa *in vitro* con epítomos parecidos al gluten (Zevallos et al. 2012), utilizando

una biblioteca de anticuerpos monoclonales murinos (mMAbs) de subunidades de anti-gliadina y anti-gluteninas de peso molecular alto (HMW-GS) mediante inmunoensayo de punto y ELISA doble sándwich. Las prolaminas fueron extraídas de quince cultivares de quinoa del banco de germoplasma en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA Perú).

Se utilizaron cuatro mMAbs, a saber, PN3 (anti A-gliadina 31-49), CDC5 (anti  $\alpha$ -gliadina 56-75), CDC3 y CDC7 (anti HMW-GS 1Dy10). Los estudios de toxicidad *in vivo* han demostrado que el péptido A-gliadina 31-49, un péptido 19-mer, y el  $\alpha$ -gliadina 56-75, el epítipo inmunodominante de célula-T de gliadina (Anderson et al. 2000) son responsables de la destrucción de la arquitectura vellosa (Fraser et al. 2003) y que las HMW-GS 1Dy10, HMW-GS (importantes para la formación de la masa de pan) que probablemente también estén implicadas en el daño epitelial.

Se compararon quince cultivares de quinoa con estándares de almidón de trigo con contenido de gluten conocido (A, B, y C) y los controles negativos (sorgo y mijo). Los estándares de almidón de trigo fueron clasificados de acuerdo con la intensidad del color como A (-), B (++), y C (+++). Ocho muestras de quinoa resultaron completamente negativas y fueron equivalentes al almidón de trigo aceptable para pacientes con EC (A). El cultivar Witulla dio una ligera reacción (+) a los anticuerpos contra péptidos de gliadina. Los cultivares 03-21-1181, CICA-17 y Blanca de Jujuy dieron una leve reacción (+) a los anticuerpos contra HMW-GS y los cultivares Ayacuchana, LP-4b e INIA Pasankalla dieron una leve reacción (+) tanto a los anticuerpos de péptidos de gliadina como a los de HMW-GS. También, el cultivar Ayacuchana fue el único cultivar que mostró una reacción (++) moderada al anticuerpo anti-gliadina CDC5 (anti  $\alpha$ -gliadina 56-75) (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Nivel de epítomos celíaco-tóxicos en cultivares de quinoa, controles positivos y negativos analizados por inmunoensayo de punto y ELISA no competitiva. Las muestras con cantidades indetectables de epítomos tóxicos están representadas por un signo menos. HMW-GS, subunidad de glutenina de alto peso molecular; mMAb, anticuerpos monoclonales murinos; ND, no determinado.

Método	Ensayo de inmunounión de punto				ELISA
	Anti-gliadina		Anti-HMW-GS		Anti-gliadina
	PN3	CDC5	CDC3	CDC7	PN3
Cultivares de quinoa					
Illpa INIA	-	-	-	-	-
Kamiri	-	-	-	-	-
03-21-1181	-	-	+	-	-
Salcedo	-	-	-	-	-
Kancolla	-	-	-	-	-
03-21-0386	-	-	-	-	-
Rojo Achachino	-	-	-	-	-
Chullpi Rojo	-	-	-	-	-
Blanca de Jujuy	-	-	+	+	-
CICA-17	-	-	-	+	-
Ayacuchana	+	++	+	+	2,56
LP-4B	+	-	-	+	1,38
INIA-Pasankalla	+	-	+	+	1,21
Witulla	+	+	-	-	1,64
Rojo Coporaque	-	-	-	-	-
Almidón de trigo A	-	-	-	-	ND
Almidón de trigo B	++	++	++	++	ND
Almidón de trigo C	+++	+++	+++	+++	ND
Sorgo	-	-	+	+	-
Mijo	-	-	-	-	-

La concentración de prolamina de 15 cultivares de quinoa pura también fue determinada utilizando mMAb PN3 contra el péptido tóxico A-gliadina 31-49. La concentración más alta se observó en los cultivares Ayacuchana (2,56 mg/kg) y en orden descendente, en Witulla, LP-4B e INIA-Pasankalla. Los resultados indican que todos los cultivares de quinoa tuvieron un contenido de gluten por debajo de la cantidad máxima de gluten (20 mg/kg) sugerida para alimentos que pueden ser etiquetados como “libres de gluten” (FAO y WHO 2008). Siete

cultivares mostraron niveles cuantificables de prolaminas tóxicas con valores máximos de 2,56 mg/kg (Ayacuchana) y mínimos de 0,48 mg/kg (Rojo Achachino). Para concluir, quince cultivares de los Andes tienen niveles bajos (menos de 20 mg/kg) de prolaminas con una estructura similar a epítomos de gluten tóxicos conocidos y, por lo tanto, pueden ser etiquetados como libres de gluten.

## 6. Respuesta inmunoestimulante adaptativa e innata a las prolaminas de la quinoa.

El sistema inmune adaptativo juega un papel importante en la inmunopatogénesis de la EC. La transglutaminasa tisular II (TG2), ubicada en la mucosa intestinal, desamida los péptidos de gliadina, que a continuación, pueden ser presentados a las células T CD4+ de la lámina propia por las células presentadoras de antígenos (DQ2+ o DQ8+). Las células T CD4+ activadas que siguen la vía de las T auxiliares (Th) tipo 1 inician la producción de interferón gamma (IFN- $\gamma$ ) y el posterior deterioro de la mucosa (Nilsen et al. 1998; Sollid 2002). Sin embargo, otros estudios sugieren que algunos péptidos de gluten pueden inducir daño a la mucosa a través de la activación directa de mecanismos de inmunidad innata tales como la secreción de interleuquina 15 (IL-15) (Maiuri et al. 2003). Por lo tanto, los sistemas *in vitro* que aborden tanto la respuesta inmune innata como la adaptativa, deben considerarse para evaluar los efectos de proteínas con capacidad de afectar la EC.

### 6.1 Actividad aglutinante celular de las prolaminas de la quinoa.

De Vincenzi et al. (1999) examinaron la idoneidad de la quinoa para pacientes celíacos en proteínas solubles en alcohol extraídas de granos de quinoa y expuestas a células K562(s), una línea de tejido leucémico mieloide crónico, midiendo el nivel de aglutinación celular. La digestión con pepsina y tripsina (PT) se resolvió asimismo en una columna sefarosa-6B-manano, y se obtuvieron dos fracciones: la fracción A que representa el 94% y la fracción B, el 1% de la carga total de proteínas. Además, los autores midieron la cantidad potencial de epítomos celíaco-tóxicos por ELISA comercial, basado en una mMAb que reconoce la  $\omega$ -gliadina.

Los resultados indicaron que los niveles de prolaminas tóxicas en las muestras de quinoa eran bajos (0,003g/100 g de harina integral) y posiblemente subestimados debido a las limitaciones del sistema ELISA y la composición de aminoácidos de las prolaminas de quinoa, que tienen niveles más bajos de prolamina en comparación con las prolaminas celíaco-tóxicas. La digestión péptica-tríptica de las prolaminas de la quinoa no aglutinó las células K562(s), ni si quiera en los análisis realizados en concentraciones

elevadas. La fracción A tampoco aglutinó las células K562(s), mostrando el mismo comportamiento que la digestión PT total, pero la fracción B fue muy activa en aglutinar las células K562(s).

Además, esta actividad fue inhibida cuando se combinó con la fracción A, sugiriendo que las prolaminas enteras de digestión PT de la quinoa no podían aglutinar las células K562(s), potencialmente porque los péptidos en la fracción A interfieren con los de la fracción B. Los resultados de este experimento proporcionan información muy importante sobre las prolaminas de la quinoa. Sin embargo, la EC es una enfermedad mediada por células T que afecta principalmente al epitelio del intestino delgado, por lo que sería más apropiado utilizar líneas de células T específicas de gliadina de biopsias duodenales para entender los efectos de las prolaminas de quinoa en la EC.

### 6.2 Evaluación inmunológica de prolaminas de potenciales granos libres de gluten.

Bergamo et al. (2011) analizaron la actividad inmune de las prolaminas del teff, mijo, amaranto, y quinoa, en comparación con la gliadina del trigo, utilizando líneas de células T intestinales (iTCLs), cultivos de explantes duodenales de pacientes celíacos HLA-DQ2 y ratones transgénicos HLA-DQ8.

Las células T intestinales de pacientes con EC fueron aisladas e incubadas con cuatro extractos de prolamina desamidada (teff, mijo, amaranto, y quinoa) y comparadas con la gliadina desamidada. La producción de INF $\gamma$  aumentó en la gliadina desamidada pero no fue detectada en otras muestras analizadas. Además se probaron muestras en biopsias intestinales de cultivo de órgano de 24 horas y se observó la activación de CD25 en la lámina propia y un aumento en la densidad de CD3 LIE en muestras de biopsia cultivadas con PT-gliadina. Sin embargo, no se detectaron diferencias importantes en los niveles de CD25 / CD3 en comparación con las muestras cultivadas solo con el medio de cultivo.

Los autores también probaron las muestras extraídas en ratones transgénicos HLA-DQ8 sensibilizados a la gliadina e inmunizados con PT-gliadina lo que indujo una respuesta inmune significativa *in vitro* en células del bazo y nodos linfáticos mesentéricos (NLMs) después de expuestas nuevamente a PT-gliadina. En contraste, ninguna proliferación significativa fue observada cuando las células



fueron expuestas a las PT-prolaminas de teff, mijo, amaranto y quinoa, incluso en concentraciones más altas. En conclusión el teff, mijo, amaranto, y la quinoa no muestran reactividad inmune cruzada con epítomos de gliadina DQ2- y DQ8, ni inducción de inmunotoxicidad innata, y podrían considerarse adecuados para su uso en la DLG. Sin embargo, tenemos que destacar que sólo se utilizó un cultivar no descrito por cada muestra.

### 6.3 Respuesta inmune adaptativa e innata de las prolaminas de la quinoa en la enfermedad celíaca.

La capacidad de las prolaminas de quinoa para estimular la respuesta inmune innata i adaptativa en pacientes celíacos fue determinada midiendo el nivel de INF- $\gamma$  en sobrenadantes de líneas de células T específicas de gliadina y la activación inmune innata de biopsias duodenales de pacientes celíacos (Zevallos et al. 2012).

Para este propósito, nosotros aislamos los linfocitos T CD4+ (específicos de gliadina) de biopsias duodenales de 10 pacientes celíacos y realizamos ensayos de proliferación incubando células T con y sin antígeno, midiendo la captación celular de timidina tritiada en cuentas por minuto y calculando

el índice de estimulación (IE). También se midió la citoquina INF- $\gamma$  de sobrenadantes de cultivos celulares con y sin antígeno.

Además, biopsias duodenales *ex-vivo* de 8 pacientes celíacos fueron expuestas a gliadinas y prolaminas de quinoa. Las citoquinas (IL-15 e INF- $\gamma$ ) secretadas de las biopsias cultivadas con y sin antígeno fueron medidas por ELISA y los resultados fueron corregidos por peso de la biopsia y volumen del sobrenadante antes de compararlos utilizando una prueba estadística no paramétrica.

Se observaron IE positivos ( $IE \geq 2$ ) en las diez líneas de células T cultivadas con gliadina (Rektor) con índices de estimulación desde 2,1 a 24,1. Dos de las diez líneas de células T (C y G) cultivadas con prolaminas de los cultivares Ayacuchana y Pasankalla mostraron índices de estimulación positivos. En la línea C de células T, la gliadina Rektor indujo una secreción de INF- $\gamma$  de 108 pg/mL, mientras que una igual concentración de prolaminas de Pasankalla indujo una concentración más baja, 20 pg/mL. En la línea G de células T, no se obtuvieron valores detectables (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Índices de estimulación de cada línea de célula T contra las prolaminas desamidadas de trigo y cuatro cultivares de quinoa (Rektor, Ayacuchana, Pasankalla, Witulla y LP-4B). \* indica índices de estimulación positivos (es decir,  $\geq 2$ ).

Células T	Índices de estimulación (IE)				
	Líneas	Rektor	Ayacuchana	Pasankalla	Witulla LP-4B
	A	2,9*	<1	<1	<1
	B	6,5*	<1	<1	1
	C	3,5*	1,4	2,4*	1
	D	6,2*	1,4	1,3	1
	E	4,8*	1	<1	1,2
	F	24,1*	1,5	1,4	1,4
	G	2,1*	2*	2*	1,6
	H	4,9*	1	<1	1,1
	I	4,9*	<1	<1	<1
	J	20,2*	1	1,1	1,4

Los índices de estimulación (IE) positivos de las células T de pacientes celiacos (HLA-DQ2 o HLA-DQ8) después de estimulación con gliadinas, apoya la evidencia de que la respuesta inmune adaptativa a la gliadina es directamente responsable de la lesión mucosa inflamatoria (Lundin 1993; van de Wal et al. 1998). Si se intercambia esta información a los resultados obtenidos en este estudio, podríamos argumentar que algunas prolaminas de la quinoa podrían provocar una lesión mucosa duodenal en pacientes celíacos.

Sin embargo, igualmente podría argumentarse que todas las líneas de células T estimuladas con prolaminas de quinoa tuvieron un IE menor a 3, que según otros estudios se consideraría negativo (Vader et al. 2002). Además es posible que algunos aminoglicanos glicosilados mitógenos similares a la fitohemaglutinina (PHA) presente en las prolaminas de la quinoa (de Vincenzi et al. 1999) permanezcan en la muestra final, a pesar de la inclusión de métodos (ultrafiltración) para eliminar esas moléculas. Por otra parte, la hipótesis de la presencia de una molécula parecida al PHA no explicaría los efectos de la TG2 en el aumento de la antigenicidad. Está claro que se necesitan más estudios de investigación respecto a las propiedades

de la quinoa en la enfermedad celíaca.

Por lo tanto, las prolaminas procedentes de estos dos cultivares de quinoa (Ayacuchana y Pasankalla) fueron extraídas y cultivadas con biopsias intestinales de ocho pacientes celíacos. Las biopsias fueron expuestas a medio de cultivo (sin antígeno), ovoalbúmina (control negativo), gliadina (control positivo) y prolaminas de quinoa (muestra de prueba). La citoquinas INF- $\gamma$  y IL-15 fueron medidas por ELISA y comparadas estadísticamente entre concentraciones en medios de biopsias cultivadas sin antígeno y biopsias cultivadas con un antígeno (gliadina o prolaminas de quinoa). Las prolaminas de quinoa Ayacuchana estimularon la secreción de INF- $\gamma$  y IL-15, mientras que las prolaminas del cultivar Pasankalla fueron capaces de estimular la secreción de IL-15 en comparación con el control positivo (gliadina cultivar Rektor) y negativo (ovoalbúmina) (Cuadro 3). Estos resultados confirman la posible activación celular del sistema inmune innato por las prolaminas de quinoa en un contexto multicelular. Sin embargo, el rango de valores fue altamente variable, sugiriendo que el sistema inmune de algunos pacientes se verá más activado que otros ante la presencia de prolaminas de quinoa.

**Cuadro 3.** Concentración de INF- $\gamma$  e IL-15 en 8 experimentos de cultivo de órgano. <sup>1</sup> Media +/- EE (todos esos valores). <sup>2</sup> Diferencia significativa respecto de la media,  $p < 0,05$  (prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para datos pareados).

Biopsia	Concentración de INF- $\gamma$ / IL-15 en pg/mg tejido				
	Medio	Ovoalbúmina	Rektor	Ayacuchana	Pasankalla
A	0,6 / 0,2	0,3 / 0,2	1,7 / 0,8	1,4 / 0,7	0,9 / 0,4
B	0,2 / 0,1	0,6 / 0,4	0,3 / 0,4	0,5 / 0,2	0,2 / 0,2
C	0,3 / 0,2	0,4 / 0,1	0,4 / 0,3	0,5 / 0,2	0,2 / 0,2
D	0,2 / 0,2	0,4 / 0,2	0,3 / 0,2	0,3 / 0,2	0,3 / 0,3
E	0,4 / 0,3	0,5 / 0,3	0,4 / 0,3	0,5 / 0,3	0,5 / 0,3
F	0,3 / 0,2	0,3 / 0,2	0,3 / 0,3	0,5 / 0,2	0,3 / 0,2
G	0,5 / 0,3	0,2 / 0,2	0,6 / 0,2	0,3 / 0,4	0,3 / 0,2
H	0,4 / 0,3	0,5 / 0,4	0,8 / 0,4	0,5 / 0,6	0,9 / 0,7
8	0,37 <sup>1</sup> (0,04 <sup>2</sup> )/ 0,22 <sup>1</sup> (0,02 <sup>2</sup> )	0,39 <sup>1</sup> (0,03 <sup>2</sup> )/ 0,26 <sup>1</sup> (0,02 <sup>2</sup> )	0,60 <sup>1</sup> (0,11 <sup>2</sup> )/ 0,37 <sup>1</sup> (0,05 <sup>2</sup> )	0,57 <sup>1</sup> (0,08 <sup>2</sup> )/ 0,35 <sup>1</sup> (0,04 <sup>2</sup> )	0,46 <sup>1</sup> (0,07 <sup>2</sup> )/ 0,31 <sup>1</sup> (0,04 <sup>2</sup> )

Este estudio informó por primera vez de la activación de células T específicas de gliadina por dos cultivares de quinoa (Ayacuchana y Pasankalla) después de la desamidación con la enzima TG2, lo que sugeriría una situación análoga como se ve en la avena donde una pequeña proporción de pacientes celíacos fueron afectados por la avena, probablemente debido a la presencia de un epítipo con características similares a los epítipos de la gliadina (Arentz-Hansen et al. 2004). Por lo tanto, es posible que los péptidos celíaco-tóxicos existan dentro de las prolaminas de estos dos cultivares de quinoa.

Además, los efectos de la gliadina en la secreción de IL-15 pueden no ser exclusivos a los pacientes celíacos sino que un mecanismo innato común en la población general (Bernardo et al. 2008). Sin embargo, los pacientes celíacos parecen ser más sensibles al efecto de la IL-15, y desarrollan una respuesta inflamatoria secundaria que involucra la secreción de INF- $\gamma$  que no ocurre en pacientes no celíacos. El cultivar Ayacuchana parece provocar la respuesta inicial y secundaria. Sin embargo, para confirmar estos hallazgos, se requiere más información del perfil de aminoácidos de la quinoa, los efectos de las subfracciones de prolamina utilizando células T CD4+ así como los efectos de la quinoa como alimento en una dieta libre de gluten.

## 7. Estudios de alimentación *in vivo*.

El gluten en la dieta puede provocar inflamación y deterioro histológico del intestino delgado en individuos genéticamente predispuestos. Un tratamiento efectivo para los pacientes celíacos es seguir una estricta dieta libre de gluten (DLG), pero los cereales libres de gluten tienen menos disponibilidad, palatabilidad y pueden contener menos nutrientes que sus contrapartes que contienen gluten. Los productos alternativos libres de gluten que puedan mejorar cualquiera de esas cualidades son una bienvenida adición a la DLG. Sin embargo, es posible que vestigios de péptidos tóxicos conocidos dentro de la fracción de prolamina de estos productos puedan empeorar la enfermedad celíaca.

La clasificación taxonómica puede utilizarse para clasificar productos aptos para la DLG (Kasarda 1994), pero en última instancia los estudios

en pacientes celíacos (*in vivo*) son necesarios para confirmar la idoneidad del producto, especialmente si hay rastros de péptidos celíaco-tóxicos en la fracción de prolamina, como se observa en algunos cultivares de quinoa (Zevallos et al. 2012).

### 7.1 Efectos nutricionales de granos alternativos en la dieta libre de gluten.

Lee y colaboradores (2009) evaluaron los efectos de sustituir granos alternativos en el perfil de nutrientes de la dieta libre de gluten típica. Los granos alternativos fueron seleccionados debido a su perfil de nutrientes, disponibilidad, y precio. La ingesta alimentaria de cincuenta pacientes elegidos al azar fue evaluada retrospectivamente utilizando un registro de 3 días de la ingesta alimentaria habitual.

Un patrón de comida incluye una porción de cada uno de los grupos: proteína, lácteos, frutas o verduras, y granos. Un merienda consiste en al menos dos opciones de: proteína, lácteos, frutas o verduras, o granos. Los patrones de consumo de los 50 registros de dietas fueron utilizados para crear un único patrón de ingesta promedio. El patrón alimentario libre de gluten "alternativo" fue desarrollado sustituyendo sólo la porción de granos o almidón del patrón estándar del menú con granos o productos de grano alternativos libres de gluten. La dieta alternativa utilizó cereales en el desayuno (avena), pan a la hora de almuerzo (pan de arroz integral alto en fibra), y un acompañamiento con almidón para la cena (quinoa). El contenido de proteína, grasa, carbohidratos, fibra, tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico, hierro y calcio formó la base de la comparación de nutrientes entre los dos patrones del menú.

Los resultados indican que el patrón de dieta libre de gluten típico no cumplía con las seis a 11 porciones de granos al día recomendadas por el USDA. La población de estudio omitió los granos en sus comidas un 39% de las veces y el arroz fue utilizado como grano en el 44% de las comidas, seguido de las patatas con 8%, avena con 5%, y maíz con 4%. El trigo sarraceno y la quinoa fueron usados para sólo una comida cada uno. Los registros alimentarios indican que un 44% de las comidas fueron basadas en arroz y 55% de

las meriendas totales consistían en meriendas preparadas comercialmente como patatas fritas, pretzels, galletas sin gluten y pasteles.

La dieta libre de gluten típica no cumplía con la ingesta recomendada de fibra, tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico, hierro, o calcio. El cambio en los granos de la dieta aumentó significativamente los niveles de nutrientes seleccionados en la dieta; proteína (20,6 g vs 11 g), hierro (18,4 mg vs 1,4 mg), calcio (182 mg vs 0 mg), y fibra (12,7 g vs 5 g). La “dieta alternativa” proporcionó un perfil nutritivo mejorado en comparación con la dieta libre de gluten típica ( $P = 0,0002$ ). Por lo tanto, la sustitución de granos alternativos impacta positivamente en el perfil nutricional de la DLG (fibra, tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico y hierro), los granos sustitutos estaban ampliamente disponibles y eran menos costosos. Aunque no se informaron efectos gastrointestinales, fue asumido que los pacientes toleraron bien la adición de quinoa a sus dietas, al menos una porción diaria durante el periodo de estudio.

## 7.2 Efectos gastrointestinales de pacientes celíacos que consumen quinoa.

En este estudio nosotros examinamos la respuesta clínica, histológica e inmunológica de pacientes celíacos que consumieron 50 g de quinoa al día durante seis semanas como parte de su DLG habitual (Zevallos et al. 2014). Diecinueve pacientes participaron en el estudio, 2 hombres y 17 mujeres con una edad promedio de 59 años, IMC de 23 kg/m<sup>2</sup>, 9 años siguiendo una DLG, y todos eran HLA-DQ2 positivos. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en el Hospital St. Thomas de Londres, y todos los pacientes dieron su consentimiento por escrito antes de participar en el estudio. Todos los participantes

eran pacientes celíacos adultos siguiendo una DLG durante al menos 1 año. Los participantes fueron excluidos si presentaban cualquier condición médica considerada lo suficientemente grave como para interferir con el estudio o constituir un riesgo inaceptable para ellos. Se les entregó una tarjeta a los participantes para que registraran los síntomas gastrointestinales (diarrea, dolor abdominal, aumento en los borborismos y vómitos) a lo largo del periodo de estudio. Además, 10 pacientes celíacos tratados proporcionaron biopsias duodenales para mediciones morfométricas al principio y al final del estudio.

Los síntomas gastrointestinales fueron clasificados diariamente (0 ninguno, 1 leve, 2 moderado, y 3 severo). Diez pacientes no informaron ningún síntoma. Nueve pacientes informaron síntomas desde leves a moderados durante las primeras dos semanas del estudio. La mayoría de ellos eran dolor abdominal leve, seguido por un leve aumento en los borborismos y diarrea. Esto puede deberse a un aumento en la fibra dietética, según se ha informado en otros estudios de alimentación (Storsrud et al. 2003). Las biopsias duodenales de 10 pacientes fueron evaluadas al azar y ciegamente antes y después de comer quinoa utilizando tres parámetros morfométricos (VH:CD, SECH, y LIE). Los resultados indican que los valores promedio de VH:CD pasaron de ligeramente por debajo de niveles normales (2,8:1) a niveles normales (3:1). Lo mismo ocurrió con SECH, desde 28,76 a 29,77  $\mu\text{m}$ . Los LIE disminuyeron desde levemente anormal (30,3) a justo por debajo de normal (29,7). Aunque se observó una tendencia positiva (mayor VH:CD y SECH, menor LIE), no se logró una diferencia significativa en ninguna de las mediciones (Cuadro 4).



**Cuadro 4.** Mediciones morfométricas de 10 pacientes antes y después de comer quinoa. Los valores normales para el índice VH:CD varían entre 3:1 y 5:1, para mediciones SECH de 29 a 34  $\mu\text{m}$  y el porcentaje normal de LIE, el recuento varía entre 10 y 30. No se encontraron diferencias significativas cuando se compararon las muestras.

Paciente	Razón de altura de la vellosidad a profundidad de la cripta		Altura de las células eritrocitos superficiales		R e c u e n t o de linfocitos intraepiteliales	
Número	VH:CD		SECH ( $\mu\text{m}$ )		LIE (%)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
1	2,3	2,8	30,34	34,08	27	30
2	1,9	1,5	23,20	27,25	34	41
3	2,1	2,7	23,90	28,76	60	44
4	2,9	2,8	32,11	29,81	20	15
5	2,0	2,2	22,85	29,02	39	45
6	3,2	3,9	26,40	34,23	12	10
7	3,3	3,8	35,46	29,33	20	35
8	2,9	3,2	31,80	28,07	36	40
9	5,2	4,5	33,60	27,70	15	12
10	2,3	2,4	27,91	29,44	40	25
Media (DS)	2,8 (0,98)	3,0 (0,89)	28,76 (4,56)	29,77 (2,45)	30,30 (14,49)	29,70 (13,5)

Al final del estudio, los valores promedio de VH:CD (3:1) y SECH (29,77  $\mu\text{m}$ ) se encontraban en el extremo inferior del rango normal (3:1 a 5:1 y 29 a 34  $\mu\text{m}$ , respectivamente), lo que es relativamente normal en un grupo de pacientes celíacos con una gran variedad de tiempo siguiendo una DLG (1 a 33 años), ya que se podría tardar más de dos años en lograr parámetros morfométricos normales o cuasi-normales desde el momento de iniciación del tratamiento (DLG) (Wahab et al. 2002). Inversamente, el otro parámetro morfométrico, el recuento de LIE, se encontraba en el extremo superior de la normalidad (10 a 30%) después del consumo de quinoa (29,7%). Nasser-Moghaddam y colaboradores (2008), en una revisión para determinar el rango de normalidad de LIE en pacientes celíacos, indicaron que un porcentaje de menos de 35 en portaobjetos teñidos con inmunohistoquímica (IHQ) podría considerarse normal, 36 a 39 el límite, y más de 39 aumentado. Además, el autor indicó que los recuentos normales

de LIE deberían tomar en cuenta exposiciones ambientales, antecedentes étnicos, y diferencias regionales.

Todos los valores medianos para las pruebas de sangre al principio y al final del estudio se encontraron dentro del rango normal adecuado, excepto el colesterol total y LDL que fueron ligeramente superiores a los valores recomendados (4 y 2 mmol/L respectivamente) (NICE 2010). El colesterol total en la población de estudio se redujo de 4,6 a 4,3 mmol/L, el LDL de 2,46 a 2,45 mmol/L y el HDL se redujo significativamente ( $p \leq 0.05$ ) desde 1,8 a 1,68 mmol/L después de comer quinoa. Esta leve reducción del colesterol concuerda con un estudio temprano en el cual una hipercolesterolemia inducida en ratones se vio muy aliviada por el consumo de quinoa (Konishi et al. 2000). Aunque los valores del colesterol siguieron siendo ligeramente superiores al nivel recomendado y hubo una reducción de HDL, está

claro que el consumo de quinoa puede beneficiar a los pacientes celíacos.

Para concluir, la adición de quinoa a la dieta libre de gluten de 10 pacientes celíacos adultos no empeoró la enfermedad y casi todos los síntomas gastrointestinales estuvieron ausentes durante el estudio, lo que podría interpretarse como una indicación temprana de que la quinoa es tolerada muy bien por los pacientes celíacos. Sin embargo, se necesitan más estudios para determinar si esta tendencia positiva a la recuperación de la mucosa y reducción del colesterol se mantiene durante un período de tiempo más largo.

### 8. Conclusiones.

En conclusión, hay evidencia científica de estudios *in-vitro* e *in-vivo* que indican que algunos cultivares de quinoa tienen pequeñas cantidades de proteínas similares al gluten que pueden estimular las células inmunes *in-vitro*, pero que no empeoran la enfermedad celíaca al ser consumidos como parte de la DLG. Sin embargo, la evaluación y análisis de la inocuidad de la quinoa como ingrediente en la industria libre de gluten requerirá más investigación.

Los resultados de los estudios de células T y cultivos de órganos indicaron que las prolaminas de dos cultivares de quinoa (Ayacuchana y Pasankalla) podrían inducir una activación inmune. Experimentos adicionales que involucren la generación de clones/líneas de células T específicas a la quinoa, mediciones morfométricas después de cultivos de órgano, y la evaluación de otros marcadores de inmunidad innata complementarán los datos actuales. Además, la tendencia positiva a una mejora de la mucosa, efectos hipocolesterolémicos leves y una reducción en los síntomas gastrointestinales después de comer quinoa, idealmente requeriría un estudio clínico aleatorio, doble ciego y cruzado a largo plazo. Si bien aún se necesitan más estudios, basado en la literatura actual podemos sugerir que la quinoa puede ser consumida sin peligro por los pacientes con EC. (Cuadros ilustrativos presentados en la Sección anexos de esta publicación)

### Referencias.

- Aine, L., Maki, M., Collin, P., & Keyrilainen, O. (1990). Dental enamel defects in celiac disease. *Journal of Oral Pathology & Medicine*, 19, (6) 241-245.
- Anderson, R.P., Degano, P., Godkin, A.J., Jewell, D.P., & Hill, A.V.S. (2000). In vivo antigen challenge in celiac disease identifies a single transglutaminase-modified peptide as the dominant A-gliadin T-cell epitope. *Nature Medicine*, 6, (3) 337-342.
- Arentz-Hansen, H., Fleckenstein, B., Molberg, Ø., Scott, H., Koning, F., Jung, G., Roepstorff, P., Lundin, K.E.A., & Sollid, L.M. (2004). The Molecular Basis for Oat Intolerance in Patients with Celiac Disease. *PLoS Medicine*, 1, (1).
- Aufhammer, J.H., Lee, E., Kubler, M., Kuhn, S., & Wagner, S. (1995). Production and utilisation of the pseudocereals buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench), quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and amarant (*Amaranthus* ssp. L.) as grain crops. *Die Bodenkultur*, 46, (2) 125-140.
- Bergamo, P., Maurano, F., Mazzarella, G., Iaquinto, G., Vocca, I., Rivelli, A.R., De Falco, E., Gianfrani, C., & Rossi, M. (2011). Immunological evaluation of the alcohol-soluble protein fraction from gluten-free grains in relation to celiac disease. *Molecular Nutrition & Food Research*, 55, (8) 1266-1270.
- Bernardo, D., van Hoogstraten, I.M.W., Verbeek, W.H.M., Pena, A.S., Mearin, M.L., Arranz, E., Garrote, J.A., Scheper, R.J., Schreurs, M.W.J., Bontkes, H.J., Mulder, C.J.J., & von Blomberg, B.M. (2008). Decreased circulating iNKT cell numbers in refractory coeliac disease. *Clinical Immunology*, 126, (2) 172-179.
- Berti, C., Ballabio, C., Restani, P., Porrini, M., Bonomi, F., & Iametti, S. (2004). Immunochemical and molecular properties of proteins in *Chenopodium quinoa*. *Cereal Chemistry*, 81,(2):275-277.
- Bonamico, M., Pasquino, A.M., Mariani, P., Danesi, H.M., Culasso, F., Mazzanti, L., Petri, A., & Bona, G. (2002). Prevalence and Clinical Picture of Celiac Disease in Turner Syndrome. *Journal of Clinical Endocrinology Metabolism*, 87, (12).
- Bracken, S.C., Kilmartin, C., Wieser, H., Jackson, J., & Feighery, C. (2006). Barley and rye prolamins induce an mRNA interferon- $\gamma$  response in coeliac

- mucosa. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 23, (9) 1307-1314.
- Catassi, C., Ratsch, I.M., Gandolfi, L., Pratesi, R., Fabiani, E., Asmar, R.E., Frijia, M., Bearzi, I., & Vizzoni, L. (1999). Why is coeliac disease endemic in the people of the Sahara? *The Lancet*, 354, (9179) 647-648.
- Daum, S., Bauer, U., Foss, H.D., Schuppan, D., Stein, H., Riecken, E.O., & Ullrich, R. (1999). Increased expression of mRNA for matrix metalloproteinases-1 and -3 and tissue inhibitor of metalloproteinases-1 in intestinal biopsy specimens from patients with coeliac disease. *Gut*, 44, 17-25.
- De Vincenzi, M., Silano, M., Luchetti, R., Carratú, B., Boniglia, C., & Pogna, N.E. (1999). Agglutinating activity of alcohol-soluble proteins from quinoa seed flour in celiac disease. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, 54, (2) 93-100.
- Dickey, W. & Bodkin, S. (1998). Prospective study of body mass index in patients with coeliac disease. *British Medical Journal*, 317, (7168) 1290.
- Drzewiecki, J., Delgado-Licon, E., Haruenkit, R., Pawelzik, E., Martin-Belloso, O., Park, Y.S., Jung, S.T., Trakhtenberg, S., & Gorinstein, S. (2003). Identification and Differences of Total Proteins and Their Soluble Fractions in Some Pseudocereals Based on Electrophoretic Patterns. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, (26) 7798-7804.
- FAO & WHO (2008), *Report of the 29<sup>th</sup> session of the codex committee on nutrition and foods for special dietary uses*.
- Farrell, R.J. & Kelly, C.P. (2002). Celiac Sprue. *New England Journal of Medicine*, 346, (3) 180-188.
- Fasano, A., Berti, I., Gerarduzzi, T., Not, T., Colletti, R.B., Drago, S., Elitsur, Y., Green, P.H.R., Guandalini, S., Hill, I.D., Pietzak, M., Ventura, A., Thorpe, M., Kryszak, D., Fornaroli, F., Wasserman, S.S., Murray, J.A., & Horvath, K. (2003). Prevalence of Celiac Disease in At-Risk and Not-At-Risk Groups in the United States: A Large Multicenter Study. *Archives of Internal Medicine*, 163, (3) 286-292.
- Fraser, J.S., Engel, W., & Ellis, H.J. (2003). Coeliac disease: in vivo toxicity of the putative immunodominant epitope. *Gut*, 52, 1698-1702.
- Gray, A. Health Economics Unit. University of Oxford. (2006).
- Hallert, C., Grant, C., Grehn, S., Granno, C., Hulten, S., Midhagen, G., Strom, M., Svensson, H., & Valdimarsson, T. (2002). Evidence of poor vitamin status in coeliac patients on a gluten-free diet for 10 years. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 16, (7) 1333-1339.
- Herencia, L.I. & Alia, M. (1999). Quinoa Crop (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the central region of Spain. *Rural life* 28-33.
- Hilu, K.W. & Esen, A. (1988). Prolamin size diversity in the Poaceae. *Biochemical Systematics and Ecology*, 16, (5) 457-465.
- Jacobsen, S.E., Jørgensen, I., & Stølen, O. (1994). Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. *The Journal of Agricultural Science*, 122, (01) 47-52.
- Junker, Y., Leffler, D.A., & Wieser, H. (2009). *Gastroenterology* 2009. 36(Suppl 1):M2022.
- Kasarda, D. D. Toxic cereal grains in coeliac disease., *In Proc. 6th International Symp. on Coeliac Disease*, e. C.Feighery y C.OFarrelly, ed., Dublin: Oak Tree Press, pp. 203-220.
- Konishi, Y., Arai, N., Umeda, J., Gunji, N., Saeki, S., Takao, T., Minoguchi, R., & Kensho, G. (2000), "Cholesterol lowering effect of the methanol insoluble materials from the quinoa seed pericarp," *En Hydrocolloids*, N. Katsuyoshi, ed., Amsterdam: Elsevier Science, pp. 417-422.
- Lee, A.R., Ng, D.L., Dave, E., Ciaccio, E.J., & Green, P.H.R. (2009). The effect of substituting alternative grains in the diet on the nutritional profile of the gluten-free diet. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 22, (4) 359-363.
- Lerner, A. (2010). New therapeutic strategies for celiac disease. *Autoimmunity Reviews*, 9, (3) 144-147.
- Lewis, N.R. & Scott, B.B. (2010). Meta-analysis: deamidated gliadin peptide antibody and tissue transglutaminase antibody compared as screening tests for coeliac disease. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 31, (1) 73-81.
- Lindenboom, N. (2005). *Studies on the characterization, biosynthesis and isolation of*

starch and protein from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Universidad de Saskatchewan*.

Lo, W., Sano, K., Lebwohl, B., Diamond, B., & Green, P.H.R. (2003). Changing Presentation of Adult Celiac Disease. *Digestive Diseases and Sciences*, 48, (2) 395-398.

Logan, I. & Bowlus, C.L. (2010). The geoepidemiology of autoimmune intestinal diseases. *Autoimmunity Reviews*, 9, (5) A372-A378.

Lundin, K.E.A. (1993). Gliadin-specific, HLA-DQ(alpha 1\*0501, beta 1 \* 0201) restricted T cells isolated from the small intestinal mucosa of celiac disease patients. *The Journal of Experimental Medicine*, 178, 187-196.

Maiuri, L., Ciacci, C., Ricciardelli, I., Vacca, V., Auricchio, S., Picard, J., Osman, M., Quarantino, S., & Londei, M. (2003). Association between innate response to gliadin and activation of pathogenic T cells in coeliac disease. *Lancet*, 362, 30-38.

Maiuri, L., Ciacci, C., Vacca, L., Ricciardelli, I., Auricchio, S., Quarantino, S., & Londei, M. (2001). IL-15 drives the specific migration of CD94+ and TCR-[gamma][delta]+ intraepithelial lymphocytes in organ cultures of treated celiac patients. *American Journal of Gastroenterology*, 96, (1) 150-156.

Marsh, M.N. (1992). Gluten, major histocompatibility complex, and the small intestine: A molecular and immunobiologic approach to the spectrum of gluten sensitivity ('celiac sprue'). *Gastroenterology*, 102, 330-354.

Molberg, O., Adam, S.N., Kroner, R., Quarsten, H., Kristiansen, C., Madsen, L., Fugger, L., Scott, H., Noren, O., Roepstorff, P., Lundin, K.E.A., Sjoström, H., & Sollid, L. (1998). Tissue transglutaminase selectively modifies gliadin peptides that are recognized by gut-derived T cells in celiac disease. *Nature Medicine*, 4, 713-717.

Nachman, F., del Campo, M.P., González, A., Corzo, L., Vázquez, H., Sfoglia, C., Smecuol, E., Sánchez, M.I.P., Niveloni, S., Sugai, E., Mauriño, E., & Bai, J.C. (2010). Long-term deterioration of quality of life in adult patients with celiac disease is associated with treatment noncompliance. *Digestive and Liver Disease*, 42, (10) 685-691.

Nasseri-Moghaddam, S., Modif, A., Nouraie, M., Abedi, B., Pourshams, A., Malekzadeh, R., &

Sotoudeh, M. (2008). The normal range of duodenal intraepithelial lymphocytes. *Archives of Iranian Medicine*, 11, (2) 136-142.

NICE (2010), *Lipid modification, Directrice clinico* 67 67.

Nicolas, M.E., Krause, P.K., Gibson, L.E., & Murray, J.A. (2003). Dermatitis herpetiformis. *International Journal of Dermatology*, 42, (8) 588-600.

Nilsen, E.M., Johansen, F.E., Jahnsen, F.L., Lundin, K.E.A., Scholz, T., Brandtzaeg, P., & Haraldsen, G. (1998). Cytokine profiles of cultured microvascular endothelial cells from the human intestine. *Gut*, 42, (5) 635-642.

Osborne, T.B. (1907). The protein of the wheat kernel. *Carnegie Institute Washington, DC*, 84,

Prakash, D. & Pal, M. (1998). *Chenopodium*: Seed protein, fractionation and amino acid composition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49, 271-275.

Remes-Troche, J.M., Ramirez-Iglesias, M.T., Rubio-Tapia, A., Alonso-Ramos, A., Velazquez, A., & Uscanga, L.F. (2006). Celiac Disease Could be a Frequent Disease in Mexico: Prevalence of Tissue Transglutaminase Antibody in Healthy Blood Donors. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 40, (8).

Rodrigues, A.F. & Jenkins, H.R. (2006). Coeliac disease in children. *Current Paediatrics*, 16, (5) 317-321.

Ruales, J. & Nair, B.M. (1992). Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, 42, (1) 1-11.

Salvati, V.M., Mazzarella, G., Gianfrani, C., Levings, M.K., Stefanile, R., De Giulio, B., Iaquinto, G., Giardullo, N., Auricchio, S., Roncarolo, M.G., & Troncone, R. (2005). Recombinant human interleukin 10 suppresses gliadin dependent T cell activation in ex vivo cultured coeliac intestinal mucosa. *Gut*, 54, (1) 46-53.

Shan, L., Molberg, O., Parrot, I., Hausch, F., Filiz, F., Gray, G.M., Sollid, L.M., & Khosla, C. (2002). Structural basis for gluten intolerance in celiac sprue. *Science*, 279, 2275-2279.

Shewry, P.R. & Tatham, A.S. (1990). The prolamin



- storage proteins of cereal seeds: Structure and evolution. *Biochemical Journal*, 267, 1-12.
- Siegel, L.M., Stevens, P.D., Lightdale, C.J., Green, P.H.R., Goodman, S., Garcia-Carrasquillo, R.J., & Rotterdam, H. (1997). Combined magnification endoscopy with chromoendoscopy in the evaluation of patients with suspected malabsorption. *Gastrointestinal Endoscopy*, 46, (3) 226-230.
- Sollid, L.M. (2002). Coeliac disease: dissecting a complex inflammatory disorder. *Nature Reviews Immunology*, 2, (9) 647-655.
- Stern, M. & Working Group on Serologic Screening for Celiac Disease (2000). Comparative Evaluation of Serologic Tests for Celiac Disease: A European Initiative Toward Standardization. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 31, (5).
- Storsrud, S., Olsson, M., Arvidsson Lenner, R., Nilsson, L.A., Nilsson, O., & Kilander, A. (2003). Adult coeliac patients do tolerate large amounts of oats. *European Journal of Clinical Nutrition*, 57, (1) 163-169.
- Tack, G.J., Verbeek, W.H.M., Schreurs, M.W.J., & Mulder, C.J.J. (2010). The spectrum of celiac disease: epidemiology, clinical aspects and treatment. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 7, (4) 204-213.
- Thomas, C. (1945). *On the coeliac affection*. In: Major RH, ed. *Classic Descriptions of Disease*, II, 600-601.
- Thompson, T. (2000a). Questionable foods and the gluten-free diet: survey of current recommendations. *Journal of the American Dietetic Association*, 4, 463-465.
- Thompson, T. (2000b). Folate, Iron, and Dietary Fiber Contents of the Gluten-free Diet. *Journal of the American Dietetic Association*, 100, (11) 1389-1396.
- Vader, W., Kooy, Y., van Veelen, P., de Ru, A., Harris, D., Benckhuijsen, W., Pena, S., Mearin, L., Drijfhout, J.W., & Koning, F. (2002). The gluten response in children with celiac disease is directed toward multiple gliadin and glutenin peptides. *Gastroenterology*, 122, 1729-1737.
- van de Wal, Y., Kooy, Y.M., van Veelen, P.A., Pena, S.A., Mearin, L.M., Molberg, O., Lundin, K.E., Sollid, L.M., Mutis, T., Benckhuijsen, W.E., Drijfhout, J.W., & Koning, F. (1998). Small intestinal T cells of celiac disease patients recognize a natural pepsin fragment of gliadin. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 10050-10054.
- Verbeek, W.H.M., Goerres, M.S., von Blomberg, B.M., Oudejans, J.J., Scholten, P.E.T., Hadithi, M., Al-Toma, A., Schreurs, M.W.J., & Mulder, C.J.J. (2008). Flow cytometric determination of aberrant intra-epithelial lymphocytes predicts T-cell lymphoma development more accurately than T-cell clonality analysis in Refractory Celiac Disease. *Clinical Immunology*, 126, (1) 48-56.
- Volta, U., Granito, A., Parisi, C., Fabbri, A., Fiorini, E., Piscaglia, M., Tovoli, F., Grasso, V., Muratori, P., Pappas, G., & De Giorgio, R. (2010). Deamidated Gliadin Peptide Antibodies as a Routine Test for Celiac Disease: A Prospective Analysis. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 44, (3).
- Wahab, P.J., Meijer, J.W.R., & Mulder, C.J.J. (2002). Histologic Follow-up of People With Celiac Disease on a Gluten-Free Diet. *American Journal of Clinical Pathology*, 118, (3) 459-463.
- West, J., Logan, R.F.A., Smith, C.J., Hubbard, R.B., & Card, T.R. (2004). Malignancy and mortality in people with coeliac disease: population based cohort study. *British Medical Journal*, 329, (7468) 716-719.
- Wieser, H. Gastrointestinal Immunology and gluten sensitive disease, *En 6th International Coeliac Symposium*, C. Feighery & C. O'Farrelly, eds., Dublin: Oak Tree Press: Dublin, pp. 191-202.
- Wu, J., Xia, B., von Blomberg, B.M.E., Zhao, C., Yang, X.W., Crusius, J.B.A., & Peña, A.S. (2010). Coeliac disease: emerging in China? *Gut*, 59, (3) 418-419.
- Zevallos, V.F., Ellis, H.J., Suligoj, T., Herencia, L.I., & Ciclitira, P.J. (2012). Variable activation of immune response by quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) prolamins in celiac disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 96, (2) 337-344.
- Zevallos, V.F., Herencia, L.I., Chang, F., Donnelly, S., Ellis, H.J., & Ciclitira, P.J. (2014). Gastrointestinal effects of eating quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in celiac patients. *The American Journal of Gastroenterology*, 109 (2) 270-8.



# PARTE 4. ASPECTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS



## CAPÍTULO: 4.1.

TÍTULO: COMERCIO  
INTERNACIONAL DE QUINUA

\*Autor correspondiente: Salomón SALCEDO <salomon.salcedo@fao.org>

Autores<sup>1</sup>:

CARLOS FURCHE<sup>a</sup>, SALOMÓN SALCEDO<sup>b</sup>, EKATERINA KRIVONOS<sup>b</sup>, PABLO RABCZUK<sup>c</sup>, BYRON JARA<sup>a</sup>, DIEGO FERNÁNDEZ<sup>c</sup>, FERNANDO CORREA<sup>c</sup>

<sup>a</sup> FAO, Santiago, Chile

<sup>b</sup> FAO, Roma, Italia

<sup>c</sup> ALADI, Montevideo, Uruguay

## Resumen:

La quinua ha sido uno de los productos de mayor dinamismo en el comercio mundial en los últimos años. Tal ha sido este dinamismo, que en el 2012 se creó una subpartida arancelaria específica para la quinua. Las perspectivas de oferta y demanda de la quinua apuntan a que continúe el crecimiento del comercio internacional de la quinua en el futuro. El presente artículo hace una caracterización del comercio mundial de la quinua, identificando a los principales exportadores e importadores, las condiciones de acceso a mercado, y los principales determinantes de la oferta y demanda mundial de este producto. Se analizan las perspectivas de demanda y oferta mundiales de la quinua, las características de su cadena de valor, y se destacan retos de política pública para fortalecer el sector productivo y para volver más eficiente la cadena de valor.

## Introducción.

Desde hace algunos años se constata un sistemático aumento de la demanda en los mercados internacionales por la quinua y sus productos

derivados, lo que se ve reflejado igualmente en el rápido aumento de la superficie bajo cultivo. Los principales países exportadores son Bolivia y Perú, sin perjuicio de lo cual, existen otros países interesados en aumentar su producción y participar en los mercados internacionales, como es el caso de Ecuador y en menor medida Chile, Colombia y Estados Unidos. Las razones que explican este aumento en la demanda son diversas, entre ellas la alta calidad nutricional de la quinua y sus derivados, la propensión hacia patrones de alimentación saludables, la revalorización de las culturas ancestrales, el hecho de que se trata de un producto originado en pequeñas explotaciones campesinas y la condición mayoritariamente orgánica de la oferta. Todo ello permite suponer que las perspectivas de aumento de la demanda internacional para los próximos años continuarán siendo favorables dado que responde a procesos de tipo más bien estructural. Las condiciones de acceso de la quinua a los mercados internacionales, tanto regionales como globales, son igualmente favorables, pues enfrentan bajos niveles de protección arancelaria y pocas restricciones de tipo fito-sanitario. Este artículo aborda las positivas perspectivas del comercio internacional de la quinua, haciendo referencia a los retos que enfrentan las políticas públicas para potenciarlo. Así, se hace referencia al aspecto productivo, manejo postcosecha,

<sup>1</sup> El presente artículo es una adaptación del estudio FAO-ALADI (2013b) realizado por los mismos autores sobre "Tendencias y Perspectivas del Comercio de la Quinua".

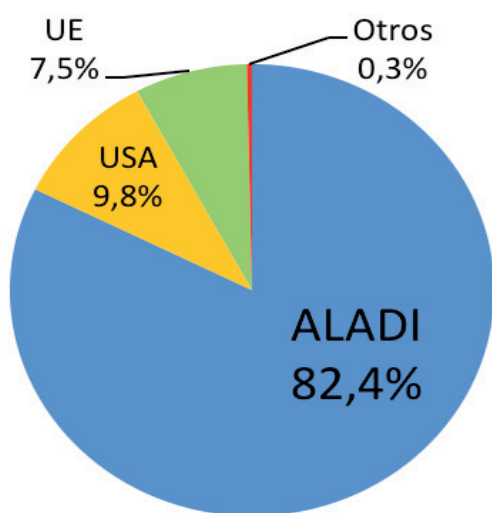


procesamiento y distribución, de forma que los beneficios de este ciclo de expansión sean retenidos en una mayor proporción por los productores y sus organizaciones.

### El comercio mundial de quinua.

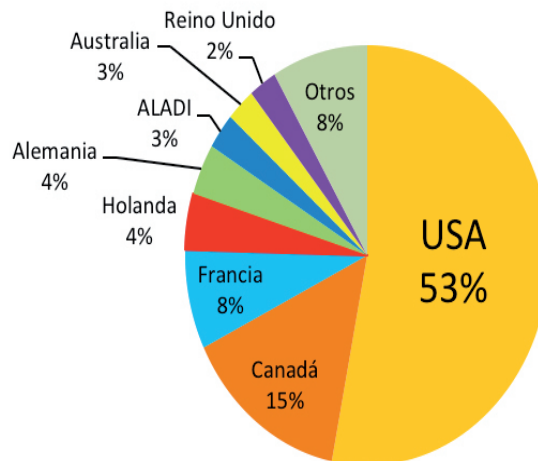
El comercio mundial de la quinua ha experimentado un crecimiento significativo en el pasado reciente. A partir del año 2006 se aceleran las exportaciones desde América Latina, región que alberga a los tres países andinos que contribuyen con más del 80% de las exportaciones mundiales. Este fenómeno ha determinado que la Organización Mundial de Aduanas haya introducido una apertura arancelaria para la quinua, la subpartida 10.08.50.

El valor de las exportaciones ascendió a aproximadamente 131 millones de US dólares en 2012, con una alta concentración tanto por origen como por destino. Así, el 84.2% de las exportaciones mundiales se originan en Bolivia, Ecuador y Perú, siendo también exportadores Estados Unidos, con un 10%, y la Unión Europea, con un 6%.



**Figura 1.** Principales exportadores mundiales de quinua (2012). Fuente: Comtrade y ALADI

El 53% de las exportaciones tuvo como destino los Estados Unidos, seguido por Canadá con un 15% de las compras mundiales. En un tercer nivel de importancia entre los destinos se destacan Francia con un 8%, Holanda y Alemania con 4% cada uno, y Australia con 3%, al igual que los países agrupados en ALADI.



**Figura 2.** Principales importadores mundiales de quinua (2012)

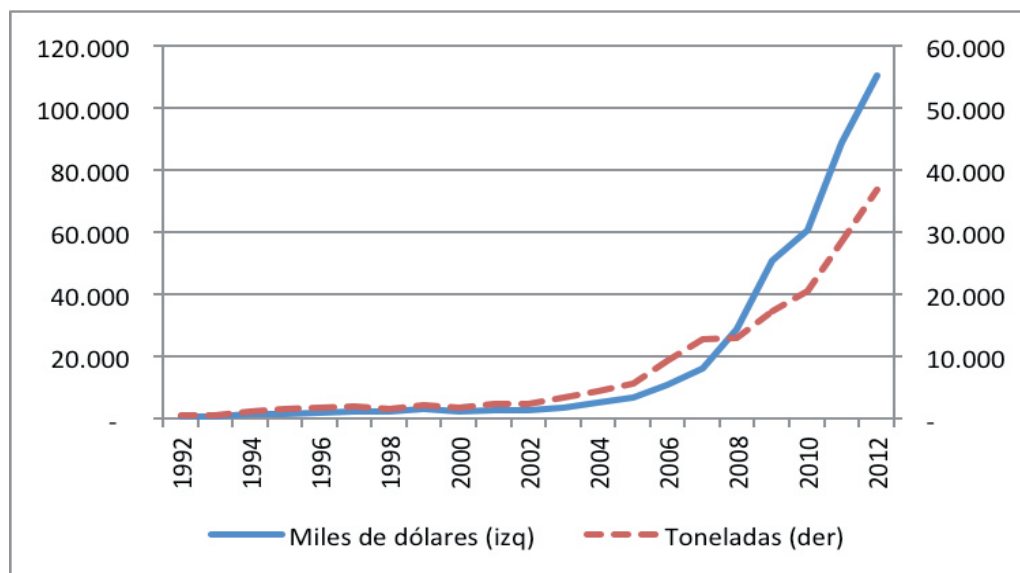
Fuente: Comtrade y ALADI.

La información estadística disponible no permite conocer la evolución histórica del comercio mundial; sin embargo, se comprueba que las exportaciones regionales de quinua, considerando ventas externas conjuntas de Bolivia, Ecuador y Perú, han experimentado un fuerte y sostenido crecimiento en los últimos veinte años. En valores corrientes pasaron de 700 mil dólares en el año 1992 a 111 millones de dólares en 2012, lo que representa un incremento promedio anual de 28,8%.

Cabe destacar que el ritmo de crecimiento de las exportaciones de quinua se ha acelerado en los últimos años. Así, las ventas se multiplicaron por 4 entre 1992 y 2002, mientras que entre 2002 y 2012 lo hicieron por 39.

Medidas en volumen, las exportaciones de quinua también experimentaron un fuerte incremento. En efecto, las mismas pasaron de 600 toneladas en 1992 a 37 mil toneladas en 2012, lo que representa un crecimiento promedio anual del 22,8%.

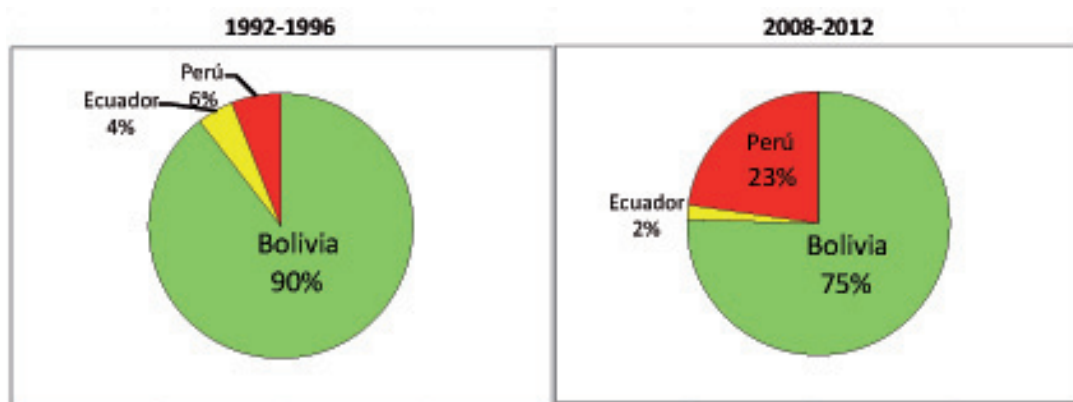




**Figura 3.** Exportaciones regionales de quinua: 1992-2012 Fuente: ALADI

La estructura de las exportaciones regionales de quinua según origen se ha modificado moderadamente en los últimos 20 años, manteniendo a Bolivia como el principal exportador

a pesar de disminuir su participación desde el 90% al 75%, seguido por Perú, que ha aumentado su participación de un 6% a un 23%, en tanto que Ecuador ha disminuido su peso relativo.



**Figura 4.** Origen de las exportaciones regionales de quinua Fuente: ALADI

La estructura por mercado de destino de las exportaciones regionales de quinua también experimentó cambios moderados en los últimos veinte años, tanto por el surgimiento de nuevos mercados, como por la recomposición de los ya existentes. Sin embargo, la gran concentración de las ventas se mantuvo durante todo el período.

Durante los últimos veinte años los Estados Unidos

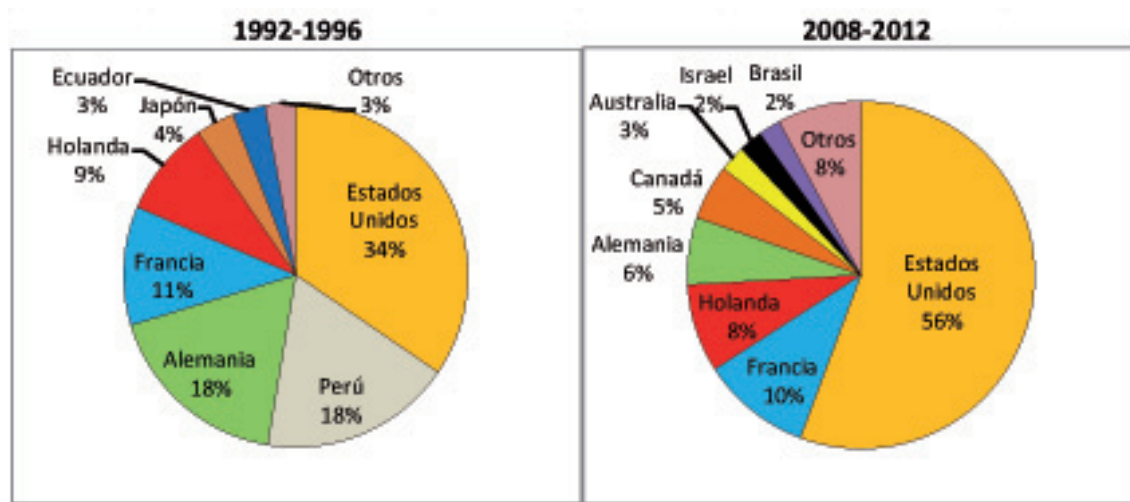
incrementaron su importancia como mercado de destino, de tal forma que concentran el 56% de las importaciones. Simultáneamente, aparecen como nuevos mercados de relevancia Canadá (5%), Australia (3%), Israel (2%) y Brasil (2%).

En contrapartida, fueron perdiendo peso relativo los mercados europeos –Alemania, Francia y Holanda– y Japón. Perú y Ecuador ya no aparecen entre

los principales compradores justamente porque han incrementado su producción doméstica, la que abastece tanto el mercado interno como la demanda internacional.

Cabe destacar que a pesar de la disminución en

términos relativos de los envíos hacia la Unión Europea, ello ocurre en el contexto de un aumento general del volumen transado en el mercado internacional, de modo que en términos absolutos las exportaciones a los mercados europeos se han incrementado también significativamente.



**Figura 5.** Destino de las exportaciones regionales de quinua. Fuente: ALADI

Estados Unidos es el principal mercado para los países exportadores de quinua. En efecto, más de la mitad de las colocaciones de cada uno de ellos se realizan en dicho país: Bolivia 54%, Ecuador, 55% y Perú 61%.

En lo que respecta a la distribución por destino del resto de las exportaciones se presentan algunas diferencias. Bolivia tiene como otros compradores importantes a Francia con un 13% y Holanda con 10%. Por su parte, Ecuador registra una gran concentración del resto de sus ventas en el mercado

alemán, 30%, al tiempo que Perú presenta una estructura más diversificada entre Alemania, Canadá, Israel, Australia e Italia, todos ellos con participaciones inferiores al 10%.

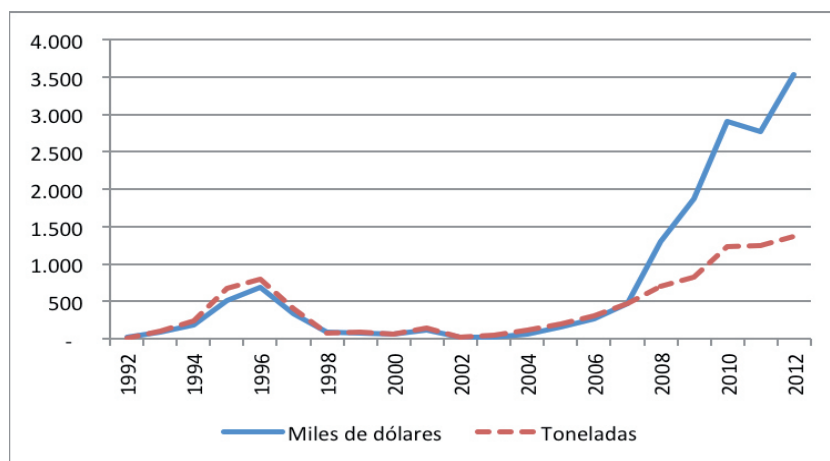
Finalmente, cabe destacar que Perú es el país que accede actualmente a mayor cantidad de mercados con sus ventas de quinua. En el último quinquenio registró exportaciones a 51 países. Por su parte, Bolivia y Ecuador accedieron a 36 y 17 mercados, respectivamente.



**Figura 6.** Destino de las exportaciones de quinua de cada país: 2008-2012  
Fuente: ALADI

Por otra parte, el intercambio comercial entre los países miembros de la ALADI ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos 20 años, pasando de apenas 21 mil dólares en el año 1992 a 3,5 millones de dólares en el año 2012, aunque de todas formas ello representa una proporción

menor del valor total transado en el mercado internacional. El volumen comercializado dentro de la región de América Latina creció desde 22 toneladas en 1992 a 1.382 toneladas en 2012, lo que es igualmente una proporción menor del volumen transado internacionalmente.



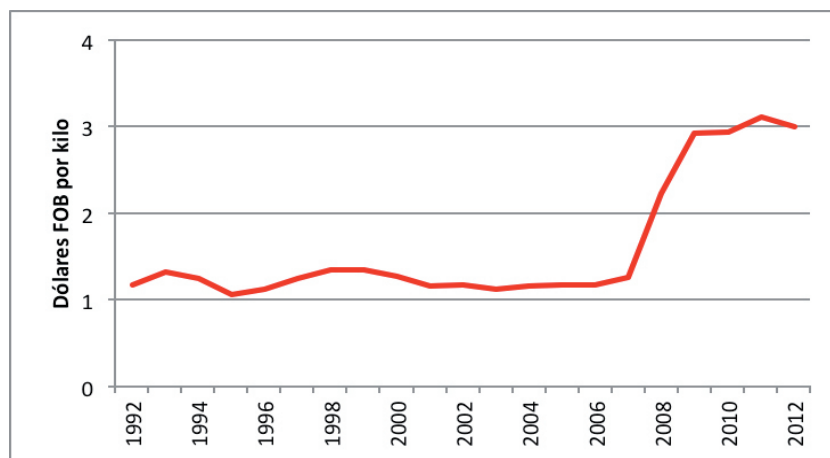
**Figura 7.** Comercio intrarregional (ALADI) de la quinua: 1992-2012  
Fuente: ALADI

#### Evolución de los Precios Internacionales.

Las cifras disponibles muestran que el precio internacional (FOB) de la quinua se mantuvo relativamente estable entre 1992 y 2007, ubicándose en el rango de 1,1 a 1,3 dólares por kilogramo. En los dos años siguientes éste experimentó un fuerte aumento que lo llevó a ubicarse en 2,9 dólares el

kilogramo en 2009, y a estabilizarse en torno a los 3 dólares por kilogramo.

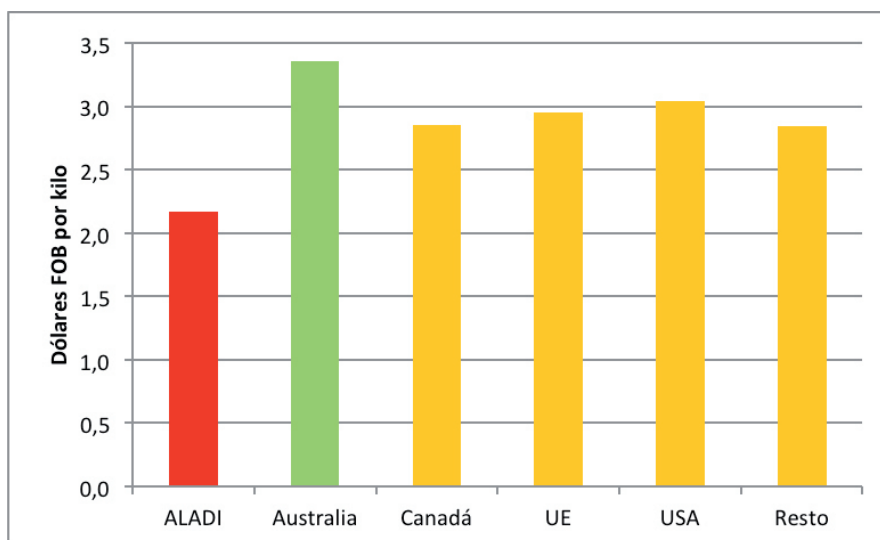
Este rápido aumento del nivel de precios es indicador de la fortaleza de la demanda en el mercado internacional pues se han mantenido elevados a pesar del aumento de la superficie cultivada y consiguientemente de la oferta disponible.



**Figura 8.** Evolución del precio de exportación de la quinua: 1992-2012  
Fuente: ALADI

El precio según mercado de destino muestra algunas diferencias. En un extremo se destacan las colocaciones en Australia las que, según cifras del año 2012, obtienen valores unitarios de 3,4 US dólares por kilogramo, por encima del promedio de US 3 dólares por kilogramo. Las exportaciones a los

países de la ALADI son las que registran menores precios, US 2,2 dólares por kilogramo, en tanto los principales mercados de destino –Canadá, Estados Unidos y la Unión Europea– exhiben valores unitarios muy similares al promedio.



**Figura 9.** Precios según mercado de destino (2012)

Fuente: ALADI

#### Condiciones de acceso a mercado.

Las exportaciones de quinua enfrentan escasa protección arancelaria en los principales mercados de destino. En efecto, Estados Unidos tiene un arancel no preferencial para países miembros de la OMC de apenas 1,1%. Por su parte, la Unión Europea grava este producto con un arancel específico de 37 euros por tonelada, lo que también representa una escasa protección, pues equivale aproximadamente a un arancel ad-valorem de 1,6%. Los otros mercados de importancia en la actualidad, tales como Canadá, Japón, Australia e Israel tienen totalmente desgravadas las importaciones de quinua.

Por otro lado, entre las economías grandes con potencial de mercado pero que aún no se encuentran entre las principales importadoras, se observa que Rusia tiene un gravamen moderado (5%), al tiempo que China tiene un arancel de 3%, excepto para las semillas, las que se encuentran totalmente desgravadas.

A estos bajos niveles de protección arancelaria debe

agregarse que los principales países exportadores gozan de mecanismos preferenciales en muchos de los países importadores. En particular, las exportaciones ecuatorianas y peruanas a los Estados Unidos están totalmente desgravadas como resultado de las preferencias arancelarias previstas en la ATPA (Andean Trade Preference Act) y en el Tratado de Libre Comercio Estados Unidos - Perú, respectivamente.

Por su parte, el acceso al mercado de la Unión Europea se encuentra libre de aranceles para los tres exportadores regionales de quinua. Bolivia y Ecuador gozan de la desgravación del producto prevista en el Sistema General de Preferencias, al tiempo que Perú recibe igual trato en el marco del Tratado de Libre Comercio que tiene vigente con el bloque europeo. Finalmente, cabe mencionar que las ventas peruanas de quinua a China se encuentran también libres de aranceles de acuerdo a los compromisos asumidos en el Tratado de Libre Comercio China-Perú.



**Cuadro 2.** Aranceles y preferencias en diferentes mercados

Arancel / gravamen preferencial	País importador							
	USA	Canadá	UE	Japón	China	Rusia	Australia	Israel
<b>Arancel NMF</b>	1,1%	0%	37 €/t	0%	Semillas 0% Los demás 3%	5%	0%	0%
Exportador	Trato preferencial							
<b>Bolivia</b>	No existe		SGP 0 €/t		No existe	No existe		
<b>Ecuador</b>	ATPA 0%		SGP 0 €/t		No existe	No existe		
<b>Perú</b>	TLC 0%		TLC 0 €/t		TLC 0%	No existe		

Fuente: OMC. Se consideraron los siguientes años: 2011 para Australia y Rusia, 2012 para Estados Unidos, Japón, Israel, Unión Europea y Canadá.

Nota: el área gris indica que no opera ninguna preferencia porque el arancel NMF es cero

En síntesis, considerando conjuntamente los aranceles y los mecanismos preferenciales vigentes, resulta evidente que la protección arancelaria no constituye una barrera importante para el acceso del grano a los principales mercados del mundo.

#### **Condiciones de acceso a los mercados regionales.**

En la mayoría de los países miembros de la ALADI las importaciones de quinua están gravadas con arancel. No obstante, simultáneamente varios de los países de la región han liberado del pago de arancel la compra de quinua para siembra, entre

los que se encuentran Argentina, Brasil, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela.

Las importaciones de quinua están libres de aranceles en Perú. Entre los restantes países, Ecuador es el que más se protege de las compras externas con un arancel del 25%. En un segundo nivel de protección, 10%, están Bolivia, Colombia y Panamá. Los países miembros del MERCOSUR tienen un arancel algo inferior (8%), al tiempo que Chile y Cuba registran los menores niveles arancelarios.

**Cuadro 3.** Arancel de la quinua en los países de la ALADI

País	Arancel NMF%	
	Quinua para siembra	Quinua. Los demás
<b>Argentina</b>	0	8
<b>Bolivia</b>	0	10
<b>Brasil</b>	0	8
<b>Colombia</b>	0	10
<b>Cuba</b>	0	3

Chile	0	6
Ecuador (1)	0	25
México	7	7
Panamá	10	10
Paraguay	0	8
Perú	0	0
Uruguay	0	8
Venezuela	0	8

Fuente: ALADI

(1): Además del Arancel NMF existe un gravamen de 0,5% (Fondo de Desarrollo para la infancia)

A pesar de que existen aranceles en la mayoría de los países de la región, el comercio intrarregional de quinua se encuentra mayormente desgravado gracias a las preferencias arancelarias previstas en los acuerdos comerciales vigentes.

Por ello, si bien existe algún espacio para avanzar en una mayor liberalización del comercio intrarregional de la quinua, el impulso que se puede dar por esta vía es limitado debido a la profundidad de los compromisos ya asumidos en diversos Acuerdos.

**Cuadro 4.** Preferencias arancelarias de la quinua entre los países de la ALADI (%)

Beneficiario	Otorgante												
	Arg.	Bol.	Bra.	Col.	Cub.	Chi.	Ecu.	Méx.	Pan.	Par.	Per.	Uru.	Ven.
Argentina	*	100	100	100	12	100	50	20	12	100	90	100	100
Bolivia	100	*	100	100	100	100	100	100	34	100	100	100	100
Brasil	100	100	*	100	12	100	50	20	12	100	90	100	100
Colombia	100	100	100	*	20	100	100	100	20	100	100	100	20
Cuba	28	100	100	20	*	20	Sin pref.	28	20	12	Sin pref.	Sin pref.	100
Chile	100	Sin pref.	100	100	20	*	100	100	100	100	100	100	100
Ecuador	100	100	100	100	100	100	*	40	28	100	100	100	100
México	20	100	20	100	12	100	Sin pref.	*	12	8	100	50	12
Panamá	28	Sin pref.	28	20	20	100	Sin pref.	28	*	12	100	Sin pref.	20
Paraguay	100	100	100	100	34	100	86	100	34	*	100	100	100
Perú	100	100	100	100	Sin pref.	100	100	100	100	100	*	100	100
Uruguay	100	100	100	100	20	100	84	100	20	100	100	*	100
Venezuela	100	100	100	20	100	100	100	28	20	100	100	86	*

Fuente: ALADI

### Restricciones no arancelarias.

El comercio internacional de productos agrícolas y alimentos está determinado por regulaciones fitosanitarias y por disposiciones normativas de diversa índole, y en ese sentido la quinua no es una excepción. Por esto, y en la medida en que las barreras arancelarias son escasas o nulas, las medidas no arancelarias constituyen el factor crítico para el acceso de la producción regional a los principales mercados del mundo.

Hasta el momento, las exportaciones de quinua no han enfrentado limitaciones que le impidan acceder a los mercados más exigentes en este aspecto, como son los de Estados Unidos y la Unión Europea, una vez cumplidas las regulaciones de certificación sanitaria por parte de las autoridades competentes. Adicionalmente, debe consignarse que a mayor nivel de procesamiento del producto disminuye el riesgo sanitario, lo que igualmente contribuye a facilitar el acceso del grano y sus derivados.

Además de los requisitos sanitarios, es necesario cumplir con las disposiciones para garantizar la inocuidad de los alimentos, lo que incluye disposiciones respecto a control de residuos, niveles máximos tolerables de residuos químicos y otros.

Por otro lado, un requisito común entre los países importadores, y que cobra cada vez más importancia, es la trazabilidad del producto, aplicable al proceso productivo primario así como a los demás componentes de la cadena productiva.

De igual modo, la producción orgánica está sometida al cumplimiento de normas y procedimientos que deben ser certificados por entidades competentes acreditadas para tal efecto y validadas en los mercados de destino.

En definitiva, la mantención de las favorables condiciones de acceso al mercado de que disfrutaban la quinua y sus derivados dependerá, en gran medida, de la rigurosidad en el cumplimiento y control de las exigencias sanitarias y de la inocuidad de los alimentos que son usuales en los mercados internacionales.

Al respecto, cabe señalar que estas exigencias han ido en aumento durante los últimos años y no debe descartarse que en el futuro se hagan aún más estrictas, de modo que deben constituir un ámbito de especial preocupación para las agencias públicas responsables por mantener y acrecentar el patrimonio fitosanitario de los países productores.

### Perspectivas de Oferta y Demanda.

Si bien no existen proyecciones formales de incremento de la superficie bajo cultivo y producción de quinua, diversas estimaciones señalan que en el 2011 la superficie sembrada total de Bolivia, Perú y Ecuador alcanzaba las 101.527 hectáreas, y una producción de 80.241 toneladas entre los referidos países que concentran aproximadamente el 90% de la superficie sembrada en el mundo (FAOSTAT).

Según estimaciones no oficiales publicadas en medios de comunicación de Perú y Bolivia, en el año 2013 la superficie cultivada de quinua habría alcanzado 50.000 has en Perú y 80.000 en Bolivia. El Instituto Boliviano de Comercio Exterior estima que en el 2013 la superficie cultivada en dicho país superó las 95.000 has, lo que significaría una producción superior a las 55.000 toneladas, y exportaciones del orden de los US \$ 100 millones.

El Ministro de Agricultura de Perú, por su parte, en la inauguración del Encuentro Nacional de Granos Andinos (12 de Agosto de 2013), señaló que las exportaciones peruanas de quinua alcanzarían los US \$ 45 millones ese año y que esperan transformarse a finales de esta década en el principal país exportador mundial de quinua.

Las autoridades responsables por el sector agropecuario en los países andinos plantean, entonces, una fuerte apuesta por el crecimiento tanto de la superficie cultivada como de la producción y exportaciones. De cumplirse las proyecciones indicadas por las autoridades de los dos principales productores y exportadores mundiales, la superficie bajo cultivo y la producción se duplicarían hacia finales de esta década, incorporando también un mayor número de productores. Hoy se estima que en Bolivia existen unos 70.000 productores de Quinua, y en Perú otros 60.000 productores, la enorme mayoría en pequeña escala y condiciones precarias desde el punto de acceso a los factores productivos.

A los efectos de extrapolar las tendencias históricas de producción y volumen exportado por la región, FAO-ALADI (2013) estimaron regresiones econométricas con datos anuales, desde 1992 hasta la actualidad, respecto a una variable temporal. El ejercicio muestra que el crecimiento tendencial de las exportaciones fue de 19%, muy superior al correspondiente a la producción que llegó al 5%, lo que indica que en los próximos años deberá acelerarse el aumento de la producción regional para satisfacer una demanda tan dinámica.

**Cuadro 5. Estimación econométrica de las tendencias de la producción y del volumen exportado de quinua por la región.**

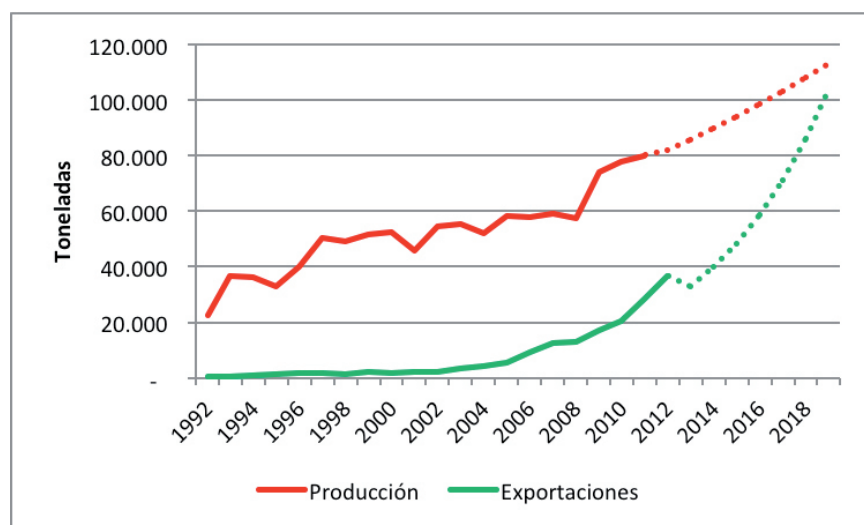
Variable dependiente	Período	Constante	Tendencia	R-cuadrado
Log Producción	1992-2011	10,3 ***	0,05 ***	0,83
Log Exportaciones	1992-2012	6,20 ***	0,19 ***	0,95

(\*\*\*): Significativo al 99%.

Fuente: FAO-ALADI, 2013.

En este escenario es razonable esperar que simultáneamente se vaya registrando un aumento del precio internacional de la quinua, lo que a su vez promoverá un aumento de la producción. Todo indica que la quinua aún se encuentra en una etapa

de penetración en los mercados internacionales, por tanto, se esperaría que los precios muestren aumentos moderados en el corto y mediano plazo, para estabilizarse en el largo plazo una vez que tiendan a converger las curvas de oferta y demanda.



**Figura 10.** Proyecciones: producción y exportaciones regionales de quinua

Fuente: FAO-ALADI, 2013.

El gráfico anterior muestra que hacia fines de esta década las exportaciones alcanzarán las 100.000 toneladas, esto es prácticamente el doble del volumen actual, lo que significaría, a los precios actuales, exportaciones en torno a los US \$ 300 millones.

#### Las perspectivas de consumo.

Como se ha destacado, la demanda se ha expandido rápidamente en los últimos años, especialmente de países con altos niveles de ingreso, como Estados Unidos, Canadá, Francia y Alemania, entre otros.

Por otra parte, en algunos de los países tradicionalmente productores y consumidores, como Bolivia, Perú, Ecuador y en menor medida Chile, Argentina y Colombia, se presenta igualmente un renovado interés por la producción y el consumo de quinua y sus productos derivados. Las razones que explican ese explosivo aumento de la demanda parecen ser bastante estructurales, algunas de las cuales se destacan a continuación:

#### *La demanda por alimentos saludables.*

El aumento de la demanda de quinua y sus derivados



agroindustriales en los países de mayores ingresos está asociado a tendencias y cambios más generales en los patrones de consumo de alimentos, que privilegian cada vez más aquellos alimentos que reúnan características nutricionales saludables, ofrezcan garantías de sanidad e inocuidad y estén asociados a algunas características especiales, como la condición de ser productos orgánicos o ser expresión de tradiciones culturales de reconocido valor.

Estudios recientes clasifican los atributos de valor de los alimentos procesados en 5 ejes principales: Placer, Salud, Forma, Practicidad y Ética (Gautier, 2010). La posibilidad de reunir una o más de estas características sería lo que en definitiva permitiría agregar valor a los alimentos y garantizar una demanda dinámica en los mercados internacionales.

La quinua, parece claro, puede reunir al menos dos de dichas características: su condición de alimento saludable y las características éticas que se asocian a su historia y tradición cultural. Por ello, la difusión de las características singulares de la quinua y de su alta su calidad nutritiva le permitirá fortalecer su posicionamiento como un producto capaz de cumplir con las crecientes expectativas de los consumidores por acceder a alimentos saludables.

#### *Nuevos usos y formas de consumo.*

La quinua fue hasta hace algunos años un producto destinado principalmente al autoconsumo en grano por parte de los campesinos y pequeños productores de los países andinos. Sin embargo, en la actualidad comienzan a consolidarse nuevas formas de consumo como las que se reseñan a continuación.

La principal forma de utilización es el grano bajo diversas modalidades, tostado o molido, o transformado en harina e incluido en diversas mezclas y preparaciones alimenticias. Esta es la forma más común de uso de la quinua para aquéllos que la incorporan como autoconsumo.

En el caso de la producción exportada, ésta se envía generalmente en grano a los mercados de destino, donde es sometida a diversos procesos de transformación agroindustrial, para incluir el producto en preparados alimenticios basados en harina de quinua, tales como galletas y masas de diversa índole. Estimaciones del gobierno de

Bolivia señalan que el 80% de la producción de Bolivia se destina a los mercados de exportación. Los registros de volúmenes y montos exportables se refieren a la quinua en grano, que es la que posee una clasificación arancelaria específica; las eventuales exportaciones de preparaciones alimenticias con algún contenido de quinua no poseen clasificación arancelaria particular (son clasificadas en la categoría “las demás”) y por lo tanto no existen registros que permitan conjeturar sobre su significación.

Dado su posicionamiento como producto funcional, de características especiales orientado a mercados de nicho, es bastante probable que sus formas de consumo evolucionen hacia preparados alimenticios en que su alto contenido nutricional contribuya a agregarles valor. Al respecto, Alarcón (2012) señala que por sus características físicas, la quinua es especialmente apropiada para el procesamiento agroindustrial, de forma que en el futuro la quinua procesada debería ser la forma en que se amplíe y difunda su consumo.

Las poblaciones andinas le han otorgado tradicionalmente propiedades medicinales al consumo de granos y harinas de quinua, basados en sus características de contenido vitamínico, de sales minerales y microelementos diversos.

Investigaciones recientes han confirmado su uso como alternativa para pacientes que sufren de trastornos derivados de su condición de celíacos, atendiendo al hecho de que la quinua puede sustituir sin dificultades a las harinas y derivados de trigo cuyo consumo afecta a dichos pacientes, asegurando al mismo tiempo los requerimientos nutricionales que su consumo cubre.

Por otro lado, hay investigaciones en marcha que mostrarían positivos efectos del consumo de quinua y derivados en relación a pacientes que sufren de diabetes, lo que estaría asociado a sus contenidos de fibra y a la presencia de hidratos de carbono de fácil digestibilidad. Sin duda, de confirmarse estas propiedades, y de avanzar su transformación en medicinas específicas para el tratamiento de esta enfermedad, se abriría un nuevo mercado de enormes perspectivas.

Otro uso sobre el que se están desarrollando investigaciones es el de derivados de la industria cosmética y de artículos de belleza y cuidado

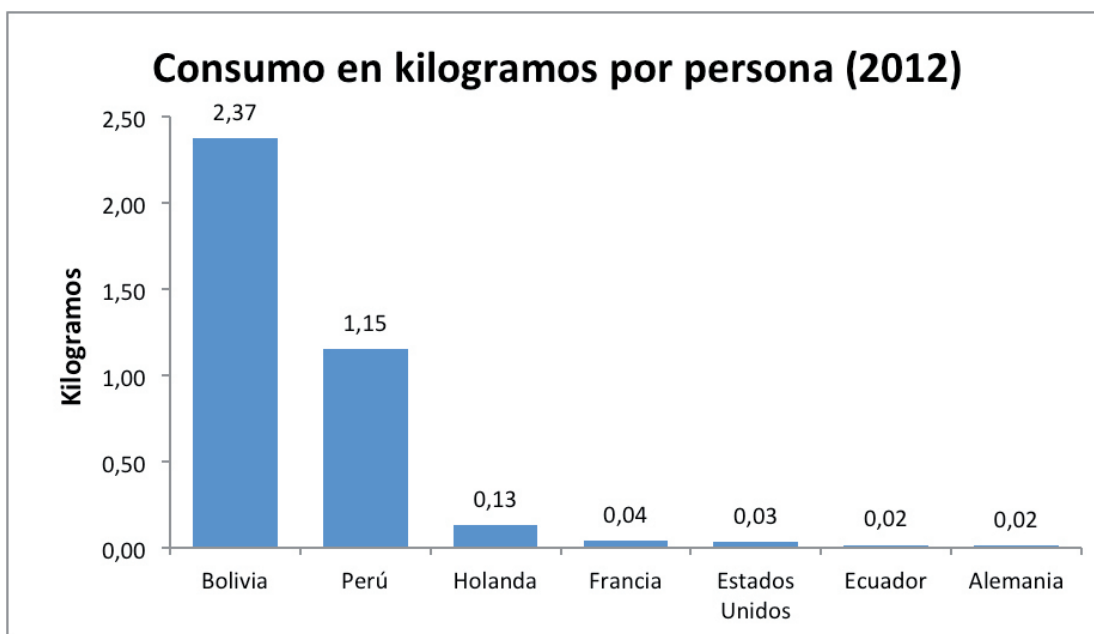
personal. Se han comenzado a desarrollar productos tales como jabones o cremas de uso corporal, basados en algunas de las propiedades bioquímicas de la quinua que la harían competitiva con otros productos de similar utilización y con menor valor orgánico natural.

Ciertamente la posibilidad de que este tipo de uso se transforme en algo masivo está aún distante; sin embargo, existen ejemplos de vinculación exitosa de productos considerados saludables con el desarrollo de productos innovadores vinculados a este tipo de industria que registra altas tasas de expansión a nivel global, como el caso de empresas neozelandesas que asociaron su producción de miel, posicionándola como saludable, con una potente industria de productos cosméticos y de belleza.

### *El consumo de la quinua.*

Si bien las exportaciones hacia los países de mayores ingresos continuará siendo el motor de la demanda, no debe desestimarse el impacto potencial de las políticas de estímulo para aumentar el consumo local, para lo cual se han puesto en práctica políticas de difusión e incorporación en programas públicos destinados a mejorar la condición nutricional de la población. Al respecto, vale la pena consignar que en Bolivia se está comenzando a incorporar la quinua en las meriendas escolares destinadas a la población de menores ingresos.

La figura que se presenta a continuación revela que el consumo en los países importadores está todavía en niveles muy distantes del observado en Bolivia y Perú, y aunque no se espera que los países importadores alcancen esos niveles, es muy probable que aumenten sus tasas actuales de consumo



**Figura11.** Consumo anual por persona (Kg). Fuente: Elaboración propia, basado en la estimación de consumo aparente, con datos de FAOSTAT, ALADI, Trade Map y Banco Mundial.

Si bien la demanda externa se presenta sólida y sostenible, es igualmente importante desarrollar acciones tendientes a fortalecer la demanda interna. En Bolivia el 80% de la producción se orienta a la exportación, en tanto en Perú esa proporción está en torno al 25%, aunque creciendo rápidamente, pues la expansión de la producción registrada en

los últimos años tiene como motor principal la inserción en los mercados internacionales.

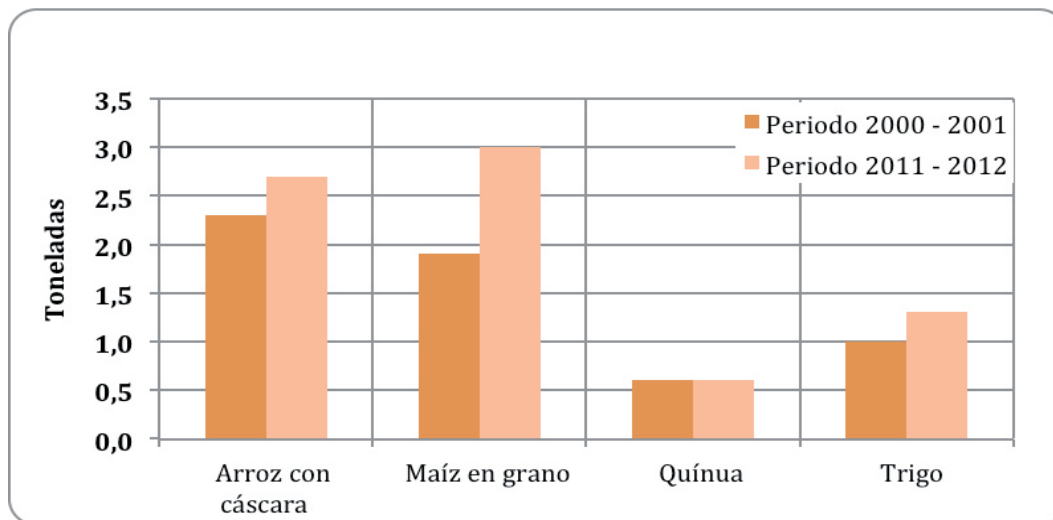
Tanto Bolivia como Perú han impulsado políticas para impulsar el consumo de quinua, en el marco de programas de alimentación escolar y de promoción de una alimentación saludable, que incluye a la quinua como uno de sus componentes principales.

### Perspectivas de la producción.

Los incrementos en los volúmenes de producción se han basado principalmente en aumentos de la superficie cultivada, más que en incrementos de la productividad física por hectárea. En efecto, en el caso de Bolivia, el rendimiento alcanzó a 6.45 quintales por hectárea en el año 2000, en tanto el 2011 registró un promedio de 5.90 qq/hectárea. La serie de 10 años muestra un estancamiento

con leves fluctuaciones hacia abajo o hacia arriba, probablemente vinculados a las condiciones del clima.

En el caso de Perú la situación es levemente diferente, pues en el año 2000 el rendimiento llegó a 9.7 qq/hectárea, y en el año 2011 llegó a 11.6 qq/hectárea, lo que supone un aumento más bien modesto de la productividad medida en términos físicos.



**Figura 12.** Evolución del rendimiento por hectárea de cuatro tipos de cereales (t/hectárea) en Bolivia. Fuente: Elaboración propia, en base a Encuesta Nacional Agropecuaria, Estado Plurinacional de Bolivia, 2008.

Las cifras de la figura anterior permiten apreciar cómo en Bolivia otros granos, en este caso trigo, maíz y arroz, han aumentado sus rendimientos por hectárea, en tanto la quinua permanece sin variaciones. Por ello, aumentar la productividad será un asunto esencial en los próximos años, tanto porque es una manera muy directa de mejorar el nivel de ingresos de los productores, cuanto porque la expansión de la superficie bajo cultivo de la quinua hacia nuevas regiones geográficas no es una variable que pueda extenderse indefinidamente.

Las razones para este comportamiento que revela un estancamiento tecnológico probablemente son diversas; sin embargo, las más importantes parecen estar asociadas a los siguientes aspectos:

a) Restricciones que afectan a los pequeños productores, que son la inmensa mayoría de

los productores de quinua, para acceder a factores productivos básicos tales como crédito, asistencia técnica, recursos hídricos, etc.

b) La gran variabilidad genética y baja calidad de las semillas utilizadas, lo que afecta los rendimientos y calidad del producto. Mejorar este aspecto es central para elevar la productividad, y si bien los Institutos de Investigación Agropecuaria y algunas instituciones privadas sin fines de lucro vienen desarrollando trabajos en este ámbito, éstos son todavía insuficientes como para provocar un cambio tecnológico significativo; además, no existen los arreglos institucionales para la difusión de los avances tecnológicos ya desarrollados.

c) Grandes pérdidas de post cosecha, asociadas igualmente a carencias propias de los pequeños productores, especialmente falta de instalaciones adecuadas para almacenamiento y

procesamiento.

d) Falta de infraestructura eficiente de procesamiento, que en general se lleva a cabo con métodos rudimentarios, lo que acrecienta las pérdidas de post cosecha.

e) Incorporación de suelos degradados o marginales al cultivo de quinua, la que a pesar de su gran adaptabilidad agroecológica, requiere de condiciones básicas de fertilidad para su desarrollo.

En definitiva, puede concluirse que las posibilidades de aumentar la producción en los países tradicionalmente productores de quinua son amplias y se fundamentan tanto en el aumento de la superficie cultivada, como ha venido ocurriendo durante en los últimos años, como en el potencial para aumentar gradualmente los rendimientos por unidad de superficie en la medida que se vayan resolviendo las dificultades y limitaciones que afectan a la pequeña agricultura. Sin embargo, muy probablemente el incremento de la producción de los países andinos no será suficiente para hacer frente al crecimiento esperado de la demanda mundial de quinua. Otros países aprovecharán esta situación y podrán incrementar su producción de quinua; no obstante, hay que tomar en consideración que, dependiendo del país que ingrese a competir en la producción de quinua, se afectará en distinta medida a los productores andinos, quienes se podrían encontrar en desventaja en aspectos de financiamiento, tecnología y recursos productivos.

#### **Características de la Cadena de Valor.**

La quinua es producida casi en su totalidad por productores campesinos, y por tanto con una oferta muy atomizada. Tan sólo en Bolivia se estima que existen al menos 70,000 pequeños productores de quinua, lo que significa que en promedio cultivarían alrededor de una hectárea. Esta característica está en la base de la estructura de los canales de mercadeo que se han establecido para el flujo de la quinua hacia los mercados locales, regionales y de exportación.

Si bien dichos canales tienen algunas variaciones dependiendo del destino final del producto, su estructura básica es similar, y está determinada

por el hecho de que en general se trata de una oferta transada en pequeños volúmenes y por su alta heterogeneidad en cuanto a calidad y características físicas.

Un elemento adicional que debe señalarse, como condicionante para la conformación de sus canales de comercialización, es que la quinua no es un producto que pueda ser consumido directamente; por el contrario, debe ser sometida a diversos procesos previos de secado, descascarado y desaponificación, lo que ofrece lugar a la presencia de intermediarios que realizan esas tareas.

La demanda internacional ha elevado las exigencias en términos de calidad y homogeneización del producto, lo que ha impulsado el surgimiento de intermediarios que procuran acortar la cadena de comercialización, precisamente con la finalidad de disminuir los costos de transacción así como obtener mejores condiciones para asegurar la calidad e inocuidad del producto. No existen estudios detallados que permitan cuantificar la forma en que los recursos son distribuidos entre los diferentes eslabones de la cadena de valor, aun cuando es válido suponer que no difiera significativamente de otras cadenas de valor en las que el grueso de los ingresos es capturado por los comerciantes y transformadores agroindustriales. Así, contrastan los precios al menudeo en algunos supermercados de Estados Unidos durante julio del 2013, entre US\$ 14 – US\$ 25 por kg de quinua perla (investigación directa de los autores), con los US\$3 / kg del precio de exportación libre a bordo.

#### **Principales actores de la cadena de valor.**

La cadena de valor presenta una gran diversidad de actores, con un alto grado de heterogeneidad respecto de su poder económico, nivel de tecnología empleado y forma de articulación con los demás eslabones de la cadena de valor. La estructura de los circuitos de comercialización de la quinua es similar a la de otros granos andinos así como de otros productos de fuerte raigambre campesina, en los que justamente el eslabón más débil es el de la producción primaria (Fundación FAUTAPO, 2012). A continuación



se describe la composición de los principales actores de la cadena de valor de la quinua, cuya caracterización es sintetizada en el Cuadro 6 (IDEPRO, 2012).

#### *Producción primaria.*

Se trata mayoritariamente de pequeños productores individuales, aun cuando participan también cooperativas y otras formas asociativas formales e informales. No disponen de infraestructura básica para almacenamiento, secado y descascarado lo que, sumado a sus bajos niveles de ingresos, impiden casi cualquier capacidad de negociación, y son por lo tanto el eslabón más débil de la cadena de valor. Cabe destacar algunas excepciones, como son las organizaciones de productores adheridas a la CABOLQUI (Cámara Boliviana de Exportadores de Quinua y Productos Orgánicos), quienes han logrado recibir hasta el 70% de los precios de exportación FOB.

#### *Acopio y procesamiento básico.*

Se trata por lo general de pequeñas e incluso micro empresas individuales, a las que más recientemente comienzan a agregarse cooperativas y asociaciones de productores, que han conseguido establecer instalaciones de pequeña escala para realizar en mejores condiciones el proceso de secado, descascarado y desamargado. Por lo general son centros de acopio localizados a nivel local, desde donde la producción es llevada a los mercados regionales e internacionales.

#### *Industrialización.*

Este proceso incluye eventualmente parte de la transformación primaria básica, pero se concentra fundamentalmente en la molienda del grano y su preparación para ser consumido directamente como harina o para ser incorporado a procesos adicionales de industrialización en los cuales la quinua es utilizada como insumo. Aquí participan fundamentalmente pequeñas y medianas empresas, incluyendo algunas cooperativas y asociaciones de productores.

Esencialmente se trata de empresas que acopian, benefician, industrializan y comercializan la quinua orgánica o convencional articulándose de manera directa con los que comercializan el producto en su destino final, sea éste nacional o internacional.

#### *Comercialización para mercado interno.*

El mercado interno de tipo local o destinado a pequeñas poblaciones rurales es asumido mayoritariamente por los propios pequeños productores, que venden su producto en las ferias que semanalmente se llevan a cabo en las diferentes localidades.

El mercado regional y el de los principales centros urbanos es abastecido principalmente a través de mayoristas que se articulan con las industrias de procesamiento. En algunos casos, la industria procesadora está ubicada en los propios centros urbanos mayores, de modo que la transacción se hace entre los acopiadores y la industria procesadora directamente.

#### *Comercialización para el mercado externo.*

La producción destinada a los mercados externos tiene otro nivel de exigencias, en cuanto a presentación, uniformidad e inocuidad. Debe resaltarse, además, que la quinua exportada es mayoritariamente producida y certificada como quinua orgánica, lo que contribuye a que se trate de canales de comercialización más especializados, que se vinculan directamente con los importadores en los mercados de destino. Por lo general se trata de empresas medianas o incluso grandes, que poseen la estructura administrativa y condiciones de soporte financiero como para cumplir los trámites y requisitos que son propios del comercio internacional.

Las organizaciones y asociaciones campesinas que logran vincularse a los mercados externos por lo general consiguen hacerlo si cuentan con el respaldo de alguna institución pública o el respaldo de alguna ONG.

**Cuadro 6.** Principales componentes de la cadena de valor

ESLABÓN	VARIANTES
Comercialización	Comercialización para exportación. Empresas exportadoras especializadas. Tamaño medio o grande.
	Comercialización para mercado interno. Empresas de tamaño medio, generalmente parte de la industria procesadora.
Industrialización	Procesamiento. Industria de tamaño medio o grande, localizada a nivel regional o centros urbanos mayores.
Transformación primaria	Beneficiado industrial. Acopiadores de nivel local o regional, y tamaño medio.
	Beneficiado no industrial. Pequeños acopiadores de nivel local
Producción del grano de quinua	Producción de quinua convencional. Micro y Pequeños productores y asociaciones
	Producción de quinua orgánica. Pequeños productores y asociaciones

Fuente: Elaboración propia basado en IDEPRO, 2012.

#### *Requerimientos para una mejor operación de la cadena de valor.*

La estructura de los canales de comercialización está en proceso de transformación como consecuencia del rápido aumento de la demanda externa y también por el incremento de la demanda en los centros urbanos más densamente poblados.

La posibilidad de que los beneficios económicos derivados del aumento de la demanda y precios internacionales lleguen a los pequeños productores campesinos depende en buena medida del perfeccionamiento de los canales de intermediación y procesamiento del producto. Para ello se requieren políticas públicas de apoyo que apunten a resolver algunos de los principales problemas actualmente existentes:

- El apoyo a la consolidación de formas asociativas y el soporte técnico, financiero e institucional para que dichas asociaciones puedan disponer de capacidades de acopio de pequeña escala, así como de instalaciones que les permitan efectuar un primer tratamiento de selección y preparación del grano para su transformación industrial, parecen ser un punto de partida básico para mejorar la posición de los

pequeños productores en su vinculación con el resto de la cadena de valor.

- La puesta en operación de programas que vinculen de forma más estable y ventajosa a los productores, como proveedores de la industria procesadora, es también un tipo de experiencia de políticas que se ha revelado exitosa en diversos países.
- El desarrollo de programas gubernamentales de estímulo al consumo interno de quinua debería estar vinculado al establecimiento de mecanismos de compras públicas directas a las cooperativas y organizaciones de productores, acortando la cadena de comercialización.
- La realización de estudios detallados de la cadena de valor de la quinua y de su proceso de transformación debería contribuir a una mejor focalización de los requerimientos y prioridades de políticas públicas para mejorar su funcionamiento.

#### **Desafíos para las Políticas Públicas.**

Las favorables perspectivas para la producción y colocación de la quinua en los mercados regionales e internacionales probablemente se mantendrán

en los próximos años, de manera que su cultivo es una muy valiosa oportunidad para promover el desarrollo de la agricultura familiar campesina. Sin embargo, para que los beneficios de esa oportunidad sea finalmente capitalizado por los pequeños productores, se requiere de políticas públicas específicas y focalizadas adecuadamente. Entre las áreas que prioritariamente deberían ser abordadas se destacan las siguientes:

- Aumentar la productividad, incorporando innovaciones tecnológicas especialmente en lo referente a calidad de las semillas y manejo del cultivo, y potenciando los programas de asistencia técnica y transferencia tecnológica.
- Desarrollar líneas de investigación que permitan una producción con mayores niveles de estandarización y uniformidad, sin que con ello se atente contra la gran y rica biodiversidad presente en este cultivo.
- Promover el desarrollo de formas asociativas para mejorar la escala de operaciones de la pequeña producción campesina, tanto a nivel de producción básica como de procesamiento, industrialización y comercialización del producto.
- Mejorar la infraestructura de acopio y secado, como una forma de reducir las pérdidas de postcosecha, y al mismo tiempo de dotar a las organizaciones de pequeños productores de un mayor poder de negociación en su relación con los otros eslabones de la cadena de valor.
- Desarrollar investigaciones acerca de nuevos usos de la quinua, como una manera de aumentar y segmentar la oferta y responder con prontitud a los nuevos perfiles de demanda en los mercados.
- Promover campañas que contribuyan a un mejor conocimiento del producto en los mercados internacionales, tanto en lo que se refiere a sus características nutricionales, como a los valores éticos y culturales que se asocian a su cultivo.

- Efectuar un seguimiento del comportamiento de los mercados, especialmente externos, de tal manera de prevenir desajustes entre oferta y demanda que puedan eventualmente afectar de modo negativo los precios.

- Otorgar continuidad a las políticas públicas que promueven el consumo interno, mediante la incorporación a las raciones alimentarias distribuidas en escuelas y colegios, así como otras medidas de promoción y difusión que se han puesto en ejecución.

- Ciertamente, la aplicación de políticas públicas de apoyo a la producción de quinua requerirá de participación de los diversos actores de la cadena de valor, de continuidad en el tiempo para permitirles un impacto efectivo, y de una adecuada focalización para asegurar que llega a los segmentos de productores en que ella es más necesaria.

### Conclusiones.

La creciente demanda en los mercados internacionales continuará siendo el principal factor de estímulo para el desarrollo del cultivo de la quinua durante los próximos años. Se constata un alto interés por sus características saludables, por los valores y tradiciones asociadas a su producción y por las diferentes opciones de preparación y consumo que ofrecen el grano y sus derivados.

Las proyecciones de demanda y crecimiento de la producción tanto en países en desarrollo como desarrollados permiten esperar, al menos hasta finales de esta década, un nivel de precios similar e incluso más elevado que el actual; por ende, el cultivo de la quinua continuará siendo una buena alternativa para mejorar los ingresos de los pequeños productores, especialmente de la región andina. Así, el estímulo a la producción de quinua debería ser visto también como una potente opción de políticas públicas orientadas a combatir la pobreza rural y a mejorar las condiciones de alimentación y nutrición de los sectores de menores ingresos. Sin embargo, será necesario considerar cómo los mayores precios de la quinua no impiden el acceso de las poblaciones vulnerables que no han sido consumidores tradicionales de quinua a este nutritivo alimento. Los programas gubernamentales de compras públicas de Bolivia, Perú y Ecuador

parecen dar luces en este ámbito.

El desarrollo del cultivo de la quinua requiere igualmente de políticas de apoyo que se orienten especialmente a superar los principales problemas que afectan su productividad, especialmente considerando que los países desarrollados entrarán con mayor fuerza en los mercados como productores, para lo cual se requiere la investigación y difusión de paquetes tecnológicos adaptados a las diferentes condiciones agroecológicas en que se desenvuelve el cultivo.

De igual manera, el perfeccionamiento de la cadena de valor, entregando mejores condiciones de negociación a los pequeños productores, dotando a sus organizaciones de las condiciones básicas de almacenamiento y transformación primaria, debería ser un área de preocupación preferente para los organismos públicos, pues de lo contrario se corre el riesgo de que la bonanza y beneficios económicos de los altos precios de la quinua no lleguen a manos de los pequeños productores.

Por último, el interés y esfuerzo coordinado de los organismos públicos de los países productores, así como de las ONG y organizaciones internacionales vinculadas al sector agrario, puede contribuir a ampliar el conocimiento sobre las cualidades de la quinua, lo que fortalecerá su posicionamiento como alimento saludable, asociado a valores y tradiciones culturales que son valoradas en los mercados internacionales.

### **Bibliografía**

Alarcón, A. (2012). Mercado de la Quinua. Programa de Servicios Agrícolas Provinciales – Unidad para el Cambio Rural (PROSAP-UCAR). Buenos Aires. Argentina.

FAO (2011). Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security. [http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/cultivo\\_quinoa\\_en.pdf](http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/cultivo_quinoa_en.pdf). Julio.

FAO (2012). Celebrating the International Year of Quinoa: A future Sown Thousands of Years Ago.

Bioversity and FAO (2012). Concept Note. Junio.

FAO (2013a). Special Feature on Quinoa. Food Outlook, June.

FAO – ALADI (2013b). Tendencias y Perspectivas del Comercio de la Quinua.

FAO (2013c). Boletín de Agricultura Familiar. Julio-Septiembre.

FAUTAPO (2012). La Quinua Real en el Altiplano Sur de Bolivia: Experiencia con enfoque de cadena. La Paz. Bolivia.

Gautier, F. (2010). Principales tendencias de la innovación alimenticia. Presentación ILACAD world retail. Santiago de Chile, 13 de octubre de 2010.

IDEPRO. (2012) Institución Financiera de Desarrollo. La Paz, Bolivia. <http://www.idepro.org/quinoa.html>

World Farmers' Organization (2013). F@rmletter. Issue n. 17. Julio.



**CAPÍTULO: 4.2.****LAS DINÁMICAS DE COMERCIALIZACIÓN DE LA QUINUA EN LOS PAÍSES ANDINOS: ¿QUÉ OPORTUNIDADES Y RETOS PARA LA AGRICULTURA FAMILIAR CAMPESINA?”**

*\*Autor correspondiente:* Aurélie CARIMENTRAND < aureliecarimentrand@yahoo.fr>

**Autores:**

AURELIE CARIMENTRAND<sup>a</sup>; ANDREA BAUDOIN<sup>b</sup>; PIERRIL LACROIX<sup>c</sup>; DIDIER BAZILE<sup>d</sup>; EDUARDO CHIA<sup>e</sup>

<sup>a</sup> ADESS- UMR 5185, Maison des Suds, 12 Esplanade des Antilles, 33607 Pessac cedex. France.  
Agrónomos y Veterinarios Sin Fronteras AVSF- Bolivia, Calle Ricardo Mujia, N1008 (esq. Jaimes Freyre), Sopocachi. La Paz. Bolivia

<sup>c</sup> Agrónomos y Veterinarios Sin Fronteras AVSF – Ecuador, Juan Bayas 0e 1-50, Apdo 17-12-821. Quito. Ecuador

<sup>d</sup> CIRAD-ES; TA C-47/F; Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5 – France

<sup>e</sup> INRA/CIRAD, UMR Innovation, 2 place Viala, Montpellier, France.

**Resumen.**

La revalorización de la quinua despierta muchos intereses tanto en los países andinos como europeos y americanos. Este producto andino antes marginado y circunscrito al autoconsumo ha entrado en la dieta de la población urbana de los países andinos y su consumo se difunde en EEUU, Europa y en otras partes del mundo. En los Andes los precios en chacra aumentan y el sector quinero ha pasado a ser un sector atractivo para las inversiones. De esta chenopodiácea se está comercializando una gran variedad de productos como cereales para el desayuno, golosinas nutritivas, fideos, bebidas, cervezas y hasta helados... Estos productos tienen buena aceptación en los mercados de calidad específica como nutraceuticos, orgánicos y del comercio justo. En este contexto coexisten hoy en día varios modos de relacionarse con el mercado, de los más tradicionales como el trueque hasta los más modernos, como la venta por internet, pasando por la agricultura bajo contrato con agroindustrias modernas que incluye la certificación

orgánica y sellos del comercio justo. Este capítulo presenta los cambios en los modos de relacionarse en “el mercado” de la quinua y más aún en los distintos segmentos de ese mercado, a través de las experiencias que han sido estudiadas en Bolivia, Perú, Ecuador y Chile.

**Introducción.**

Ya no se puede hablar de la quinua como de un producto alimenticio básico destinado principalmente al autoconsumo de las poblaciones indígenas de las zonas alto-andinas. La revalorización de la quinua despierta muchos intereses tanto en los países andinos como europeos y americanos. En la última década se ha diversificado su oferta tanto en variedades como en productos y ya no solo se ofrece la mera quinua perlada (es decir desamargada, lista para el consumo) sino también una gran variedad de productos a base de quinua: cereales para el desayuno (pipocas, hojuelas de quinua, etc), galletas, golosinas nutritivas, fideos, sopas instantáneas, bebidas, cervezas, helados.

El “boom” comercial de la quinua y la segmentación de los mercados, tanto a niveles nacionales como internacionales, han llevado a la creación de nuevas cadenas de valor. La quinua tiene buena aceptabilidad en los mercados de calidad específica como nutraceuticos, orgánicos y del comercio justo (Cáceres 2005). Si bien subsiste de forma marginal el trueque y formas tradicionales de intercambio, el auge de la comercialización en supermercados y el boom de las exportaciones han modificado los sistemas de comercialización y de producción. Procesos de certificación de la calidad orgánica y del comercio justo se han desarrollado, sobre todo para el mercado internacional. También aparecieron iniciativas de valorización de la calidad específica de la quinua mediante nuevos circuitos cortos, sobre todo en Ecuador y en Chile pero también en Perú con el mercado gourmet.

#### **Cadenas convencionales.**

*Bolivia y Perú: los dos primeros actores de la quinua andina.*

La mayoría de los productores de los Andes comercializan la quinua en las ferias semanales donde la unidad de medida es la arroba (11,5 kilogramos). En algunas zonas sigue viva la práctica del trueque (contra verduras, pan....) donde la unidad de medida es el puñado (Imagen 1).



**Imagen 1:** Trueque de quinua contra pan en el altiplano peruano. © Aurélie Carimentrand (julio del 2012).

Ferias locales o mercados de más importancia (como la feria de Challapata en Bolivia o el mercado Manco Capac de Juliaca en Perú) reúnen a mayoristas que manejan grandes volúmenes y abastecen los mercados urbanos y las agroindustrias. Estos intermediarios compran quinua en las ferias semanales o directamente en las comunidades, asumiendo el transporte del grano. Como en muchas otras cadenas, los acopiadores tienen cierto poder de negociación y de control sobre el sector quinuero ya que concentran grandes volúmenes. Sin embargo, el poder de mercado de los intermediarios es variable. Según Risselborn (2011), el grado de competencia está ahora muy elevado en el altiplano sur de Bolivia. Los acopiadores han perdido poder de mercado. En muchas comunidades los productores tienen ahora varias opciones: vender a acopiadores, a empresas locales o a cooperativas. Estos intercambios responden a lógicas socio-económicas complejas, como lo ilustra el trabajo de etnografía de Ofstehage (2010, 2011, 2012) para el caso de la comunidad de San Agustín en Bolivia.

Los mayores flujos de quinua se registran en los meses de cosecha. Sin embargo, debido a las estrategias de venta fraccionada característica de los pequeños productores, buena parte de la producción fluye al mercado a lo largo del año. En las ferias locales los productores no suelen manejar productos estandarizados y venden una mezcla de variedades de quinua. Con el auge de la demanda urbana e internacional por la quinua, se han creado nuevas cadenas que sí manejan producto estandarizado. Esta tendencia influye sobre la organización y la gobernanza de estas cadenas, mediante el desarrollo de la agricultura bajo contrato con los productores con más potencial. Las agroindustrias y los exportadores velan a satisfacer las exigencias de los mercados, que requieren granos uniformes y grandes incitando los productores a sembrar ciertas variedades mejoradas de quinua (por ejemplo la Salcedo INIA en Perú). Este fenómeno representa un riesgo para la biodiversidad cultivada de la quinua ya que se tiende a homogenizar y reducir las variedades. Sin embargo ya no solo se comercializa la quinua blanca: el mercado para las quinuas de colores (roja, negra...) se está desarrollando.

En Bolivia, la mayor producción es la quinua real del altiplano Sur de Bolivia (departamentos de Oruro y de Potosí). Su valoración había iniciado en los años 1950 en mercados no registrados, tanto para el consumo interno como para su exportación hacia el Perú, a través de redes de intermediarios formadas por comerciantes de esta región y del altiplano peruano (Laguna 2002). La irrupción de las organizaciones económicas campesinas (OECAs) productoras de quinua, en particular la Central de Cooperativas Operación Tierra (CECAOT) en 1975 y luego la Asociación Nacional de Productores de Quinua (ANAPQUI) en 1983, con el apoyo de la Confederación Sindical Única de Trabajadores Campesinos de Bolivia (CSUTCB) contribuyó a

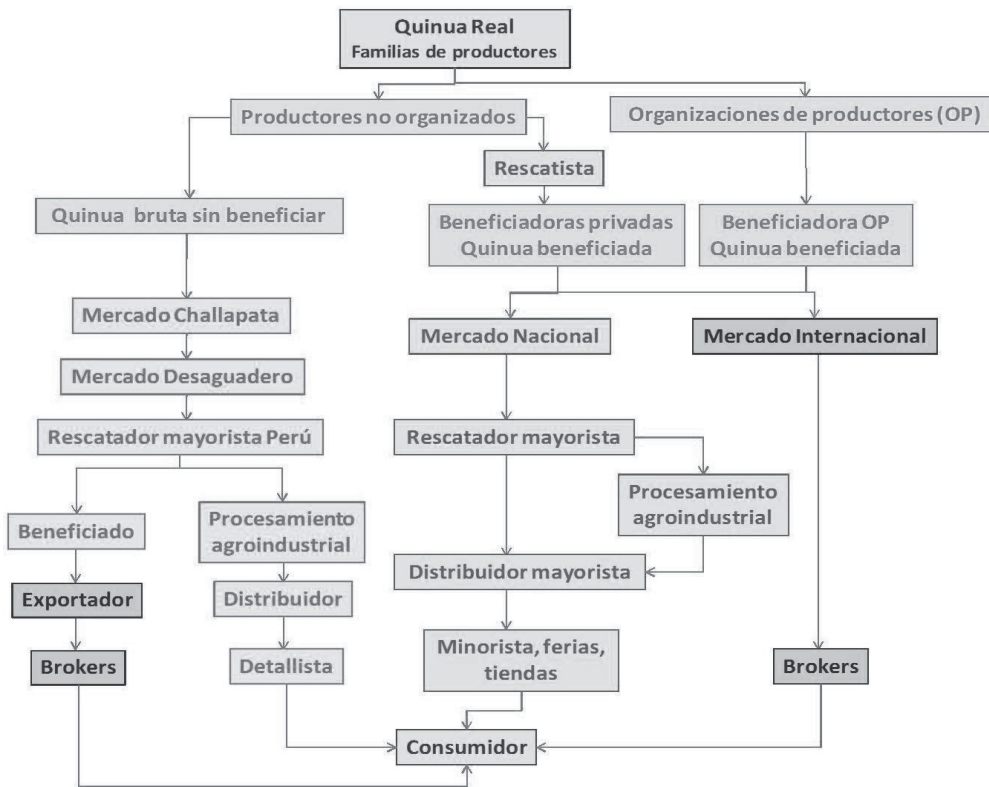
facilitar la comercialización de la quinua real. Éstas contaron con el apoyo de ONGs extranjeras y se propusieron como objetivos mejorar las condiciones de vida de sus productores, a través de la obtención de mejores precios y de valor agregado integrando niveles en la cadena de la quinua al asumir su acopio, beneficiado, transformación parcial y comercialización. Estas organizaciones de segundo grado reúnen a varias organizaciones locales (Ayaviri & al. 1999; Healy 2001; Hellin & Higman 2003; Laguna 2011). La competencia de empresas privadas llegó pronto con Saite y Irupana en 1987, Jatariy en 1997, Quinuaboli en 1998, Andean Valley en 1999, Quinoa Food en 2003, etc. En el país existen 62 plantas artesanales, semi-industriales e industriales de quinua (figura 1).



**Figura 1:** Plantas procesadoras de quinua por departamento y tipo en Bolivia. Fuente: IBCE / Comercio exterior n°210, página 13, marzo del 2013.

La primera exportación registrada de quinua en Bolivia fue en 1983 cuando CECAOT envió 200 TM a la empresa Quinoa Corporation de Estados Unidos. Según datos del Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE), en el 2012 se habrían exportado alrededor de 26 252 TM por un valor de 80 millones de dólares. Las exportaciones de quinua han aumentado fuertemente desde los años 90'. Una gran cantidad de empresas privadas así como varias instituciones de apoyo siguen esta dinámica. Sin embargo, no solo las exportaciones

han aumentado. El consumo del mercado interno por su parte se ha triplicado en los últimos cuatro años pasando de 4 000 TM a 12 000 TM en 2012 (aunque el consumo per cápita en Bolivia siga siendo bajo, alcanzando aproximadamente un kilogramo por persona y por año). En la campaña 2012 se destinaron aproximadamente un cuarto de la producción al mercado interno, otro cuarto al "contrabando" hacia Perú y la mitad a la exportación (Gout & al. 2013).



**Figura 2:** Actores de la comercialización de la quinua real del altiplano sur de Bolivia  
Fuente: Gout & al. (2013) a partir de Soraide (2008).

En el Perú las principales organizaciones de productores de quinua se encuentran en Puno, Ayacucho, Cusco y Junín sin que ellas hayan tenido el mismo desarrollo ni impacto que las organizaciones bolivianas. La debilidad del movimiento sindical en Perú tiene que ver con la época de la dictadura. Ninguna de estas organizaciones está organizada desde el nivel local hasta el nivel nacional, como pasa en Bolivia. Además, si bien se cuenta en Perú con un movimiento cooperativo fuerte, este se concentra en las tierras bajas y en rubros como café, cacao o frutas tropicales. Así que la mayoría de los productores de quinua son individuales y no pertenecen necesariamente a una cooperativa o asociación. Sin embargo la asociatividad, apoyada por ONGs locales y por los gobiernos regionales, se difunde (ver el directorio 2013 de la cadena productiva de la cadena de la quinua). La ley 29972 (2012) de “inclusión de productores agrarios a través de cooperativas” fortalece esa perspectiva. Por ahora estas organizaciones no cuentan con plantas procesadoras propias excepto la cooperativa

COOPAIN (provincia de San Román, Puno) que agrupa a quince organizaciones (más de 500 socios que cultivan unos 520 ha de quinua). Es la primera organización de productores de quinua en contar con su propia planta en Puno. Las demás plantas procesadoras de quinua son empresas privadas.

El despegue de las exportaciones en Perú se inicia en 2005. En 2011 se habrían exportado al alrededor de 7 991 TM de quinua a 36 países por un valor de 25 millones de dólares (fuente: SUNAT). Este valor subió a más de 30 millones en el 2012. El principal mercado de la quinua peruana es EEUU. El organismo público Sierra Exportadora es activo en la promoción de la quinua y en fomentar las relaciones entre los distintos eslabones de la cadena. En el 2011, la empresa líder en exportaciones de quinua era la empresa “Organic sierra y selva” con un valor de 10 millones de dólares (40% de las exportaciones de quinua del país). Tiene una planta muy moderna (lavadora y secadora automatizada) en el distrito de Lurín al sur de Lima. Otra empresa grande, el “Grupo Orgánico

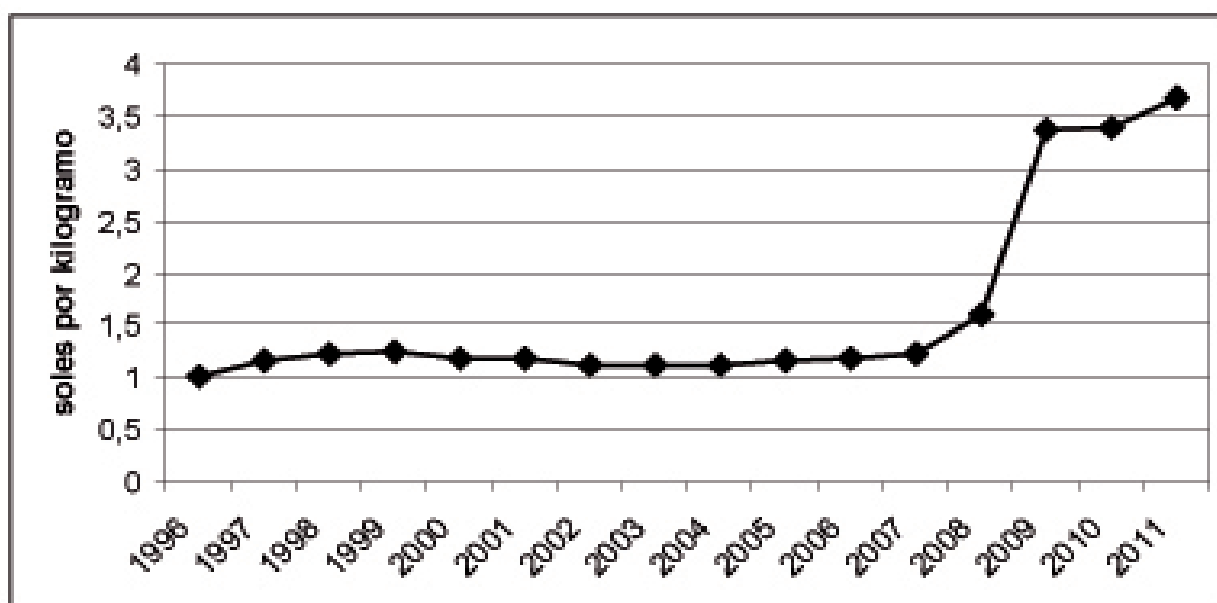


Nacional”, también tiene una planta al sur de Lima (Chorrillos). En Puno existen cuatro plantas que procesan quinua para la exportación: El Altiplano SAC, fundada en el 1994, Agroindustrias CIRNMA, ASAIGA y la cooperativa COOPAIN desde el 2010. El Altiplano SAC intentó exportar directamente quinua pero frente a las dificultades prefiere contar con un broker limeño para coordinar los trámites como transporte, aduanas, etc.

A nivel nacional se espera elevar el consumo per cápita anual de quinua, que actualmente oscila entre 800 y 1000 gramos. Los mercados nacionales para los nuevos productos a base de quinua se

desarrollan en función de la expansión de la clase media peruana. Mediante el “boom” gastronómico peruano, los chefs de la cocina novo-andina promueven el consumo de la quinua, empleándola en preparaciones modernas. La APEGA-sociedad peruana de gastronomía, organizadora de la feria Mistura, tiene un proyecto de alianzas cocineros-campesinos que incluye a productores de quinua.

Del 2007 al 2011 el precio en chacra ha triplicado, pasando de un valor de 1.22 soles por kg a un valor de 3.68 soles por kg (Fuente: MINAG – OEEE, ver figura 3).



**Figura 3:** Evolución de los precios en chacra de la quinua en el Perú. Fuente: Elaboración propia, base de datos del MINAG-OEEE.

#### *Ecuador.*

En Ecuador la venta a intermediarios clásicos es importante y corresponde a la parte de la quinua que no es comprada directamente por representantes de empresas privadas como Inagrofa, o de empresas “solidarias” como la Fundación Mujer y Familia (Fundamyf) o Sumak Life por citar las que mayor volumen manejan. Los intermediarios tienen relaciones con comerciantes y bodegueros, los principales siendo de la ciudad de Ambato y operando a la vez con la compra de la quinua ecuatoriana, como almacenando

y distribuyendo cantidades significativas de quinua peruana o boliviana importada de manera clandestina. Sin embargo el auge fuerte de los precios de la quinua en Ecuador desde el año 2012 estaría reconfigurando un poco la cadena, con una reducción por lo menos temporal de actividad de los comerciantes mayoristas y minoristas que suelen abastecer el mercado interno en beneficio de las empresas agroindustriales cuya actividad principal es la exportación, mercado en el cual la alza de precios aun no afecta el consumo por lo menos en Estados Unidos. La venta a asociaciones y cooperativas de agricultores se realiza a dos niveles.

- A nivel de organizaciones campesinas más especializadas en la quinua y mirando los mercados especiales de exportación con certificación como en el caso de la Coprobich. En otros casos si hay organizaciones, no tienen plena autonomía en el proceso comercial, que sigue siendo manejado por entidades externas de estatutos jurídicos variables (fundaciones, empresas solidarias, empresas privadas).

- Se cuenta también con organizaciones campesinas menos especializadas, apoyando una diversidad de actividades productivas e incursionando a pequeña escala en la transformación artesanal de quinua y otros granos andinos, como en el caso de la Unopac en Cayambe o de la Mushuk Yuyay en Cañar por ejemplo.

Con la empresa Inagrofa, hubo hace un par de años un intento de agricultura bajo contrato, aunque de manera muy temporal, la empresa dotaba de semillas y asistencia técnica a los productores. Esa experiencia se realizó en las provincias de Imbabura y Carchi, sin embargo solo pocos productores pudieron comercializar a través de la empresa y se quedaron sin mercado. Para este año 2013, la empresa busca involucrar nuevamente a productores, pero de otros sectores, por la desmotivación de los productores previamente vinculados a esa empresa.

En cuanto a la exportación, se ha creado recientemente a inicios del 2013, el consorcio ecuatoriano de exportadores de quinua entre tres empresas privadas, Cereales Andinos, Urcupar, y Rogetore y Franco con dos fundaciones, Fundamyf y Maquita Comercializando Como Hermanos (MCCH).

Las compras públicas de quinua y derivados ocurrieron un solo año, en el 2010, desde una demanda por compra pública de 260 toneladas del programa de provisión de alimentos a la organización Coprobich y a productores de la sierra norte. Frente a dificultades para realizar el proceso a tiempo (pues las plantas privadas priorizan el procesamiento de la quinua para su mercado y no así para el de la organización), la organización perdió dinero en esa venta al Estado. Luego las reglas de las compras públicas cambiaron y hasta

la fecha no se ha vuelto a comprar quinua desde el Estado o por lo menos no de manera significativa.



**Imagen 2:** Productor y dirigente quinuero de Chimborazo, Ecuador © Jean-Philippe Noel

La venta directa de quinua en las ferias campesinas/solidarias/agroecológicas se realiza en proporciones bastante reducidas. Por ejemplo, en las ferias de la sierra norte, sobre unos 100 puestos de venta, solo 2 a 3 ofrecen quinua. Las ventas oscilan entre 10 a 20 kilogramos por semana. En las ferias solidarias de la sierra norte acompañadas por la ONG AVSF (5 ferias y 600 productores), se comercializó en 2012 más o menos 2,5 toneladas de quinua. A través de las ferias que promueven y gestionan organizaciones como FICI, CCM, Unorcac o las asociaciones agroecológicas de la sierra sur del país, se contribuye, aunque a pequeña escala, a la venta directa de quinua por los agricultores, a precios bastante accesibles, más o menos a mitad de precio de la quinua que se puede encontrar en sistemas de distribución de gran escala como supermercados.

Si bien se realizan trueques en diferentes ferias de productores, en particular en las ferias de la sierra norte, donde diferentes grupos campesinos declararon el 2013 como año internacional del trueque, es difícil poder estimar su importancia en el tema de quinua, rubro presente en las ferias de productores, pero en proporción muy reducida.

Los precios actuales son altos en Ecuador como en todas partes del mundo tanto para los productores, como para los consumidores. Actualmente, los productores venden en promedio el quintal de 46 kilogramos de quinua (quinua no lavada ni escarificada) entre 80 (1,74 USD por kg) y 120 USD (2,5 USD por kg). Al consumidor, el precio varía entre 1 y 1,50 USD la libra (2,2 y 3,3 el kg) en ferias locales, entre 2,5 y 3 USD (5,5 y 6,6 por kg) en mercados urbanos y supermercados. Sin embargo a diferencia de Bolivia, en Ecuador esos precios altos y fluctuantes son una novedad. En 2009 el quintal valía más o menos 40 USD y de 90 USD en 2010 y volvieron a caer en 2011 alrededor de 30-40 USD para volver a subir en 2012 entre 80 y 100 USD.

Los importadores buscan quinua pero no encuentran suficiente producción disponible para satisfacer su demanda, lo que implica precios que no paran de subir, de 3000 USD la tonelada en FOB en 2012, están subiendo a 3500 – 4000 USD y no se descarta que en ciertos casos lleguen a 5000 USD FOB la tonelada antes de fin de año 2013.

#### *Chile.*

La zona principal de producción de quinua en Chile está localizada en la región de Iquique, a una altura de 3800 msnm en el altiplano chileno. La producción es realizada principalmente por agricultores de edad ya que los jóvenes abandonan la agricultura y emigran hacia las grandes ciudades. En esta región la quinua es un producto cultural ligado a la cultura Aymara. En el norte chico (región de Coquimbo), algunos productores tratan de (re)implantar la quinua y el principal objetivo es contribuir a una mejor salud. En el centro (sectores costeros e intermedios entre San Fernando, Curicó y Linares; región Libertador Bernardo O'Higgins), la quinua es cultivada por pequeños productores, más bien de edad y en pequeñas superficies. La quinua no es desconocida, y para algunos productores es uno de los cultivos, que puede ofrecer nuevas perspectivas económicas interesantes, una vez que

se haya resuelto el problema de la comercialización. En la zona sur (Temuco), la quinua está ligada a la cultura Mapuche y está presente en las huertas de las mujeres (Bazile 2013).

En numerosos estudios relativos a la quinua chilena se lee regularmente que el mercado nacional está en pleno crecimiento. Sin embargo es extremadamente difícil encontrar justificaciones que respalden esta afirmación. A falta de prueba, se asimila frecuentemente el aumento de la oferta al crecimiento del mercado. Se dice también que el autoconsumo de quinua sigue siendo importante y que las ventas pasan frecuentemente por los mercados informales. Sin embargo encuestas (Bazile et al., 2012) muestran que los agricultores venden una parte cada vez más importante de la producción ya sea en los mercados informales o formales (intermediarios, cooperativas...), a pesar de las marcadas diferencias regionales: > 25% al Sur, > 50% en el Norte, > 85% al Centro.

En la década de los 90, hubo una escasez de quinua para el consumo nacional, sobre todo en la región de Tarapacá donde se produce más de 90% de la quinua chilena y se encuentra mayoritariamente la población indígena Aymara. Múltiples factores pueden explicar esta falta de quinua, como por ejemplo los factores bioclimáticos, los precios en los mercados internacionales, migración de los jóvenes Aymaras, competencia y concurrencia de la producción boliviana; esta escasez tuvo un importante impacto sobre la producción de la quinua en el Altiplano chileno.

La comuna de Colchane es una de las 8 comunas rurales de la Región de Tarapacá (260 km al noreste de la ciudad de Iquique, Capital Regional de la región de Tarapacá) y cuenta con un total de 23 comunidades Aymaras. La superficie destinada al cultivo de la quinua en la comuna, es aproximativamente de 1.200 ha, pero solo se produce en aproximadamente 250 a 350 ha ya que en la zona se sigue practicando el barbecho o reposo de la tierra por dos años.

A partir del 2000, los productores del altiplano retomaron interés en el cultivo y la comercialización de quinua, en gran parte gracias al alza de los precios internacionales y al acceso a proyectos y recursos financieros. También comenzaron a organizarse en el territorio para optimizar la producción y la venta

de la quinua y de sus subproductos y así conquistar los mercados locales nacionales e internacionales.

En este contexto dos cooperativas de transformación de quinua fueron creadas en el 2000 y 2007 en la comuna de Colchane: Juirá Marka y QuinoaCoop. La primera, Juirá Marka, nació en el 2000, con el deseo de reunir y organizar los diferentes productores (160) de quinua de más de 20 comunidades Aymaras de la comuna de Colchane, con el fin de unirlos y reunirlos para afrontar en conjunto los cambios técnico económicos necesarios para posicionarse en el mercado mundial. La segunda, QuinoaCoop, fue creada en 2007 en el seno de una sola comunidad Aymara, la de Ancovinto

Si bien el autoconsumo depende de las estrategias familiares, se estima que el 30% de la quinua cosechada cada año va para el auto consumo y el resto se vende. Los principales mercados son Bolivia, vía la feria quincenal de Pisiga-Bolivia, en la frontera con Chile y la venta directa (con redes personales o vía los mercados) en Iquique, Alto Hospicio, Putre o Pozo Almonte. En este último caso las cantidades son pequeñas. En el año 2009, los productores de Colchane vendieron la quinua no procesada en la feria de Pisiga por un precio que varía entre 450 \$CLP<sup>1</sup> y 800 \$CLP / kg. Esa misma quinua, procesada y envasada se vende hasta 3000 \$CLP / kg a los consumidores chilenos de las ciudades de Iquique, Alto Hospicio, Pozo Almonte o Arica.

El precio de la quinua no procesada en Bolivia subió, entre el 2000 y 2009, rápidamente llegando a superar los 100 \$USD2 (54.000 \$CLP) por quintal (45 kg). En el periodo post cosecha (abril-Agosto) el precio de compra baja un poco (oferta más importante), hasta 80 \$US/quintal. En Pisiga los compradores bolivianos, ya no hacen diferencia de precios entre los granos, todos los ecotipos se venden al mismo precio, el color no influye mucho en el valor, como en los años anteriores (Arar 2009).

El apoyo de las instituciones gubernamentales y no-gubernamentales juega un rol importante en el desarrollo del cultivo y de la comercialización de la quinua. Los productores de quinua están en contacto con profesionales de estas instituciones, y postulan a proyectos que les permiten obtener recursos económicos o materiales para la producción o la

comercialización. Las principales instituciones que intervienen en la comuna son:

- Prodesal: compromiso entre la Municipalidad de Colchane e INDAP (Instituto de Desarrollo agropecuario), apoyo técnico al manejo cultural de quinua y al ganado de camélidos (llama, alpaca).
- Orígenes : programa de la CONADI (Corporación Nacional de Desarrollo Indígena), evaluación y atribución de recursos a proyectos colectivos e individuales de los productores sobre tres partes: organización, producción y cultura ( por ejemplo el proyecto UMA (*agua* en Aymara) que concierne el acceso al agua y el riego de campo)
- FIA (Fundo de Innovación Agraria) financia proyectos colectivos con objetivo productivo
- UNAP (Universidad Arturo Prat): Investigación sobre los sistemas de producción y mejoramiento varietal de las especias vegetales cultivadas en el altiplano.

Las dos cooperativas Juirá Marka y QuinoaCoop entran al mercado y trabajan para posicionarse poco a poco. En el caso de Juirá Marka y a pesar del vínculo estrecho entre esta organización y la municipalidad de Colchane, y luego de un buen inicio, esta asociación ha tenido dificultades para sobrevivir, y por lo tanto para construir y participar en las innovaciones a nivel del territorio. Las dificultades vienen de la situación diferente de los 136 asociados y el principal problema ha sido los conflictos existentes entre las comunidades. En el caso de QuinoaCoop la visión del joven líder es de “modernizar la producción” y la transformación para lo cual hace alianzas con la Universidad Arturo Prat de Iquique (Cátedra del desierto). Hoy día cuenta 14 socios, todos de la comunidad de Ancovinto (Sector Sur Cariquima) (Bazile y al. 2011).

Juirá Marka empezó a comercializar su quinua desde 2000 bajo la marca *Grano del Sol*, distintos productos y sub productos de quinua, en supermercados locales y nacionales (como la cadena Roxy), y hasta vender a empresas privadas abastecedoras de aerolínea (Skychef). En 2004,

<sup>1</sup> Considerar el cambio siguiente 1 USD = 500 CLP (pesos chilenos) aprox.



logró gracias a fondos regionales, comprar una planta procesadora (5 máquinas) y un galpón para procesar su propio grano. Pero hace unos años que la producción y la transformación se detuvo, por una serie de factores, entre ellos la concurrencia del mercado boliviano. Compradores bolivianos, en la feria de Pisiga o en pequeños pueblos por el otro lado de la frontera Chile-Bolivia, ofrecen un buen precio por una quinua no procesada y pagado en efectivo inmediatamente; de hecho hoy en día muchos productores chilenos prefieren vender directamente su producción no procesada.

La cooperativa QuinoaCoop fue fundada con el objetivo inicial de dar un enfoque distinto, una figura jurídica más comercial a una organización que ya existía como comunidad Indígena Aymara de Ancovinto. Su objetivo principal es de producir y vender su quinua a mayor escala con una marca y un nombre propio y conquistar a nuevos mercados nacionales o internacionales. Todavía trabajan en grupos organizados de forma tradicional o *Ayne* según el término Aymara. Ellos entregan una parte de su producción a la cooperativa que vende sus distintos productos de la quinua bajo la marca QuinoaCoop. Con el apoyo de proyectos institucionales (FIA) compró una planta procesadora, una maquinaria, y un galpón para procesar transformar y envasar la quinua. La Universidad Arturo Prat (UNAP) la está ayudando en el componente técnico. Al día de hoy, la cooperativa está empezando recién a comercializar su producto en el mercado local, y nacional, hasta internacional quinua sobre distintas formas: grano, harina blanca y tostada, pipoca, galletas.

La agricultura de valle de las regiones del centro de Chile, caracteriza bien el tipo de agricultura de exportación apoyada por las políticas públicas de Chile desde el comienzo de los años 80. Se trata especialmente de monocultivos de exportación (viñedos y árboles frutales), instalados en los suelos más ricos, basados en una alta tecnología y un importante aporte de capital. En el «secano costero», micro región agrícola aislada, los suelos pobres y degradados constituyen una desventaja para la agricultura familiar de la zona. Allí es donde se encuentra la quinua en superficies marginales. Mediante la historia social de estos campesinos pobres, la quinua tiene un fuerte valor de identidad y constituye el vector de una gastronomía particular,

portadora de conocimientos socio técnicos. En estas zonas de agricultura con fuertes restricciones ambientales, el cooperativismo ha sido un movimiento social fuerte. La *Cooperativa Las Nieves* nació a finales de los años 60 en plena reforma agraria en Chile. El cambio al modelo económico neoliberal durante la dictadura del general Pinochet dismanteló casi todas las redes sociales ligadas a las cooperativas agrícolas en Chile. En los años 90 la búsqueda de medios para salvar la cooperativa llevó a los actores económicos del momento a proponer la quinua como palanca del desarrollo rural local. En el 2004 nació la Empresa Agrícola Las Nieves con siete asociados, incluyendo la *Cooperativa Las Nieves*, que cedía al mismo tiempo su nombre a los mayores productores de la zona. Ellos se asociaron con el fin principal de exportar su quinua hacia los mercados de Norteamérica y Europa. De un producto de autoconsumo (de más del 80%) se pasó a un producto de economía mercantil (vendido en más de un 90%). La realidad social local obliga así a tener en cuenta los vínculos entre un actor, hoy fuerte en el medio, la Empresa Agrícola Las Nieves, y todos los otros actores de este territorio rural. La empresa Agrícola Las Nieves se ha posicionado como la única empresa de transformación y comercialización a gran escala; y ella es hoy la promotora de todos los proyectos de quinua apoyados por fondos públicos. Con una grande diferencia de precios pagados a los productores-accionistas (8-10 ha de promedio) y los pequeños productores aislados (1/4 a 1 ha) se generaron muchos conflictos entre ellos hacia la desaparición recién de la empresa. Ahora, los pequeños productores de la Zona Centro se están organizando en una asociación, con el objetivo de dirigir su producción hacia el mercado interior, especialmente el de Santiago, a 200 km de distancia, en vez de lanzarse directamente a la exportación.

### **Cadenas de valor de productos orgánicos y del comercio justo.**

#### *Origen boliviano de la quinua de comercio justo.*

Gran parte de la quinua exportada es quinua de calidad orgánica y/o quinua del comercio justo. Pero también existen mercados internos para los productos orgánicos. Para el mercado internacional, la quinua orgánica está certificada según las normas de los países importadores. Distintas empresas certificadoras nacionales y extranjeras, como Biolatina o Imo Control, se encargan de la

certificación. Para el mercado interno, existen desde el 2006 normas nacionales: la norma técnica boliviana (ley 3525/06) y el reglamento técnico para productos orgánicos en el Perú (Decreto supremo n°044-2006-AG). En Bolivia, la Asociación de Organizaciones de Productores Ecológicos de Bolivia (AOPEB) es muy activa en el desarrollo el consumo nacional de productos orgánicos. En Perú la quinua también se encuentra en los nuevos circuitos cortos de productos orgánicos como las Bioferias semanales de Lima.

En lo que se refiere al comercio justo existen varias iniciativas para la quinua (Carimentrand 2008, 2011). La mayoría de los importadores del comercio

justo recurren al uso de sellos de comercio justo. El más famoso, el sello FAIRTRADE de la Fairtrade Internacional (antes conocida como FLO) ha sido adaptado a la quinua en el 2004. Garantiza un precio mínimo que ha sido revaluado en el 2012 frente al aumento de los precios y a los problemas de sostenibilidad que enfrentan las cadenas de la quinua. El precio mínimo actual para la quinua desaponficada es de 2250 dólares por tonelada para la quinua convencional y de 2600 dólares para la quinua orgánica (Fairtrade International, 2012, ver tabla 1). Se garantiza además una prima de comercio justo de 260 USD/TM.

	Precios existentes en USD/TP	Precios nuevos en USD/TM
Ámbito geográfico	Bolivia, Ecuador, Perú	América del Sur
Forma de producto	Quinua cruda	Quinua procesada
Nivel de precio	Finca	FOB
Precio mínimo de comercio justo para la quinua orgánica	861	2600
Precio mínimo de comercio justo para la quinua convencional	771	2250
Prima de comercio justo FairTrade	85	260, de cual al menos 78 se invertirán en la sostenibilidad ambiental

**Tabla 1:** Principales cambios en los precios del comercio justo con sello FAIRTRADE para la quinua.  
Fuente: Fairtrade Internacional (2012).

El comercio justo de la quinua empezó en el altiplano sur de Bolivia en 1989 con los primeros contratos de las OECAs quinueros con importadores europeos del comercio justo gracias al apoyo y contactos de la cooperación técnica internacional. En ese entonces no había sellos para el comercio justo de la quinua. La quinua se comercializaba en tiendas especializadas del comercio justo que buscaban apoyar a pequeños productores “del Sur”. A partir del 2004 la certificación FAIRTRADE de la quinua ha permitido difundir la quinua del comercio justo en los supermercados, sobre todo en Europa, mediante marcas de comercio justo como Alter Eco o Ethiquable en Francia. El comercio justo trata de valorizar la biodiversidad de la quinua

mediante una gama de quinuas de colores (quinua negra, quinua roja o mezcla de quinua).

Al inicio el comercio justo estaba enfocado hacia la promoción de organizaciones de productores, es decir que son las organizaciones de productores las que tienen que realizar el acopio, lavado y beneficiado de la quinua y las que están en contacto directo con las empresas importadoras para sacar el producto del país. Los productores tienen así, a través de sus organizaciones, una parte mayor del valor agregado del producto final. Las comunidades no son en este caso, simples proveedoras de materia prima, sino que tienen un mayor control sobre la cadena productiva y un poder de

negociación más amplio. En el 2013 se cuenta con cinco organizaciones de productores certificadas FAIRTRADE en Bolivia: ANAPQUI, la “Asociación Ayllus Productores de Quinua y Camélidos”, la “Asociación de Productores Comunidad Cayñi”, la “Asociación de Productores de Quinua Salinas” y la “Asociación Integral de Productores Orgánicos Capura – AIPROC”. Otro sello importante para la quinua boliviana consumida en Francia es el sello “bio-équitable” de la empresa Jatary basado en la norma ESR de la certificadora Ecocert. En los últimos años, parece que en Bolivia la parte de las exportaciones de las organizaciones de productores bajo el sello FAIRTRADE ha perdido terreno frente a la exportación en comercio justo por empresas privadas (Gout & al. 2013). Con las nuevas normas de comercio justo que permiten la certificación de la agricultura por contrato, se generó todo un debate sobre este tema. Con la condición de que “a mediano plazo se transfieran las capacidades a

los productores”, se dejan las puertas abiertas para que el sistema de comercialización del comercio justo, hasta ahora más favorable al control del valor agregado por los productores, pase a ser más convencional (Gout & al. 2013).

En el Perú, hay una sola organización certificada FAIRTRADE: la cooperativa Coopain Cabana en la provincia de San Román vecina a la ciudad de Puno (foto 2). Pero podemos observar que las certificadoras de la agricultura orgánica tienden a proponer sus propios sellos de comercio justo, como el sello FAIR CHOICE de Control Unión. Muchas veces, la certificación se realiza al mismo tiempo. En el Perú, los dos mayores exportadores de quinua tienen la certificación FAIR CHOICE. El principal exportador tiene además el sello FAIR FOR LIFE de IMO Control (certificadora suiza que tiene sede en Lima).



**Imagen 3:** Cooperativa COOPAIN-CABANA (departamento de Puno, Perú). © Aurélie Carimentrand, julio del 2012.



### *Hacia la certificación orgánica.*

En Bolivia, el tema de la certificación orgánica llegó poco después del comercio justo con la implementación del programa de producción natural de quinua (PROQUINAT) en el 1992 a nivel de ANAPQUI. Correspondía a la demanda de calidad de los consumidores de productos del comercio justo y fue confirmado por un estudio de mercado del IICA (IICA/PNUD 1991; Laguna, Cáceres & Carimentrand 2006). ANAPQUI y CECAOT organizan la formación y la certificación colectiva de sus miembros, productores de quinua orgánica del altiplano sur de Bolivia. También se encargan del acopio, de la transformación y exportación de la quinua orgánica. La competencia de empresas privadas llega pronto con empresas bolivianas como Saite, Jatary, Quinuaboli, Andean Valley, Quinoa Food, etc, o sea los miembros de la actual Cámara boliviana de exportadores de quinua y productos orgánicos (CABOLQUI). Se abastecen de quinua orgánica mediante contratos con productores que incluyen la certificación orgánica. Mientras tanto, crecen las ventas de quinua en las tiendas especializadas en productos orgánicos y luego en los supermercados europeos y norteamericanos. La quinua orgánica también llega a varios otros países como Japón, Australia o China por nombrar algunos. Ecuador y Perú seguro seguirán la tendencia boliviana.

En el Perú, la certificación orgánica también se desarrolla en los años 2000 con la meta de acceder a mercados más lucrativos que el mercado nacional, y más abiertos que los mercados institucionales nacionales como el programa nacional de asistencia alimentaria (PRONAA). En el departamento de Puno, que produce aproximadamente el 80% de la producción peruana de quinua, la iniciativa ha llegado principalmente de dos ONGs, el centro de promoción urbano-rural (CPUR) de Juliaca y el centro de investigación en recursos naturales y medio-ambiente (CIRNMA) de Puno. El apoyo técnico y financiero del CPUR y del CIRNMA ha permitido la primera certificación orgánica de unos 300 productores de quinua de varios distritos de la provincia de San Román (Caracoto, Vilque, Manazo), de Chucuito (distrito de Juli) y Azangaro. Lo específico en estas cadenas es que la transformación y la exportación de quinua orgánica se hacen mediante «brazos comerciales» de esas ONGs, a saber la empresa El Altiplano SAC para

el CPUR y la empresa Agroindustrias CIRNMA. También hubieron otras iniciativas como la del corredor Puno-Cusco (financiado por el FIDA), de Pronamachcs (con la APROMIC) y otras más.

La certificación orgánica influye sobre las formas de transacciones de las cadenas, a través del sistema de la certificación colectiva que suele hacerse a nombre de ONGs o empresas privadas, como “Organic Sierra y Selva” y “Grupo Orgánico Nacional”, que contratan a los productores y les brindan asistencia técnica y en ciertos casos semillas (Carimentrand 2008).

### *La experiencia de los pequeños productores de Ecuador.*

En Ecuador los mercados diferenciados de la quinua, comercio justo y orgánico, son manejados principalmente por fundaciones que gestionan a la vez proyectos de desarrollo con las comunidades y la comercialización. El mercado de quinua comercio justo y orgánico es de unas 500 toneladas por año, en su gran mayoría se exporta, solo pequeños volúmenes se venden en el mercado interno.



**Imagen 4:** Planta quinuera de la organización Coprobich en construcción en el año 2013 © Jean-Philippe Noel

En este país se cuenta con una sola organización campesina quinuera certificada con los sellos FAIRTRADE y SPP (símbolo de pequeños productores), ese último sello en propiedad de los productores y gestionado por FUNDEPPO (Fundación de Pequeños Productores Organizados). Se trata de la corporación de productores y comercializadores orgánicos “Bio Taita Chimborazo”



(Coprobich). Sus ventas en el mercado exterior son variables entre 20 toneladas y hasta 100 toneladas, dependiendo de los pedidos de sus 2 principales clientes, Ethiquable e Inca Organics y de su capacidad de proceso de la quinua, cuando hasta ahora, por no poseer planta propia, procesa alquilando el servicio de las plantas de Sumak Life y de Fundamyf. Con apoyo de AVSF y el financiamiento del proyecto Cadens del ministerio de agricultura ecuatoriano, Coprobich está construyendo su planta propia, buscando así convertirse en la primera organización ecuatoriana de productores procesadora y exportadora directa de quinua al mercado justo y orgánico. Adicionalmente con esa infraestructura, la organización plantea comercializar quinua en grano y derivados en el mercado interno, valorizando el sello de comercio justo SPP, manejado por las organizaciones de productores latinoamericanas de comercio justo.

A su vez varias fundaciones han creado brazos comerciales para la exportación de quinua bajo los principios de comercio justo de la WFTO (World Fair Trade Organization) y en particular las siguientes:

- La fundación Fundo Ecuatoriano Populorum Progressio FEPP tiene como brazo comercial la red Camari de tienda de distribución de productos de economía solidaria en el mercado nacional, incluyendo la quinua, Camari estaría comercializando unas 18 toneladas por año, sobre todo en el mercado interno.

- La fundación Maquita Cushunshic MCCH (Maquita Comercializando Como Hermanos) con una pequeña planta procesadora de quinua, comercializa entre mercado interno y exportación unas 8 toneladas.

Los actores anteriores producen y/o procesan quinua en su mayoría orgánica, con la empresa BCS como principal certificador. Adicionalmente a esos 3 actores principales del comercio justo, se cuenta como actor de la comercialización de quinua orgánica con:

- La Fundamyf, con su quinua de marca Ramdipak, es la única empresa que distribuye quinua orgánica en los supermercados ecuatorianos. Exportó entre 2007 y 2011 volúmenes de quinua de 46 a 135 toneladas, con variaciones importantes año tras año.

- La Fundación Escuela Radiofónicas Populares del Ecuador (ERPE): posee la empresa Sumak Life de procesamiento y exportación de quinua. Sumak Life es el principal exportador de quinua a nivel nacional y de quinua orgánica con un promedio de 200 toneladas exportadas por año entre 2007 y 2011.

En esa situación, bajo el concepto de economía social y solidaria, los procesos organizativos y el control de la cadena siguen en mano de actores externos, no de los propios productores, limitando así el impacto esperado en cuanto a empoderamiento y desarrollo de oportunidades para las familias campesinas, principios en la médula de la propuesta de comercio justo. Esa confusión desde las fundaciones entre funciones comerciales y de apoyo tampoco permite la emergencia de emprendimientos asociativos complementarios a la actividad quinuera, actividad que no representa la única o incluso la principal fuente de ingreso de las familias. A raíz de ese conflicto entre principios de ayuda a las familias y fortalecimiento de capacidades con sus organizaciones, se han dividido los productores quinueros de la provincia Chimborazo, principal zona productora de quinua del país, con unas 2000 familias productoras de quinua, y una producción entre 500 y 1000 toneladas anuales. Así desde la organización campesina indígena Coprobich, que lograba juntar a la mayoría de los productores de Chimborazo con unos 1600 socios, se tomó la decisión de separarse de la fundación Erpe y de su empresa Sumak life, con el afán que los productores certifiquen, procesen y exporten su propia quinua. Esa propuesta no fue aceptada por la fundación Erpe, que quería seguir manejando la asistencia técnica, el procesamiento y la comercialización a nombre del bien de los productores. Esa situación llevó a la división de la organización, una mitad más o menos de los socios quedándose en Coprobich, la otra mitad formando la organización Sumak Tarpuy y manteniéndose en el seno de Erpe.

En ese debate sobre modelos de gestión de la cadena quinuera y de las cadenas agroalimentarias en general poco son los actores que entienden el reto de un desarrollo autónomo de las organizaciones campesinas, para manejar las etapas claves de procesamiento y comercialización, garantizando así la propuesta de comercio justo que busca acortar las cadenas, y fomentar una relación más directa y más justa entre el productor y el consumidor.

*La experiencia de los productores Mapuche del Sur de Chile.*

En el sur de Chile, la quinua, *dawe* en lengua mapuche, es una planta secular conservada por las mujeres en sus huertos. Se sigue cultivando en asociación con cultivos hortícolas locales empleando técnicas agroecológicas tradicionales. La ONG CET-SUR lleva más de quince años acompañando a los mapuches para identificar,

recolectar y difundir las variedades locales, intercambiar conocimientos y técnicas y recuperar los usos tradicionales. Así CET-SUR ha elaborado, en colaboración con las comunidades, un protocolo de auto certificación para circuitos cortos que garantiza la autenticidad de la quinua mapuche en los mercados locales y regionales y entre los chefs de cocina. La asociación de los actores involucrados o interesados productores, comunidades mapuches, empleados municipales, operadores locales de turismo, investigadores, etc, establece una nueva gobernanza. El Centro de Innovación y Emprendimiento Mapuche (CIEM) avanza en esa dirección: su comité de orientación de proyectos asocia a las comunidades mapuches con la investigación y las ONG. De esta reflexión llevada a cabo con los mapuches, se desprende que la construcción del territorio debe sustentarse en los valores sociales (ayuda mutua, trueque...), culturales (cosmogonía, ritos, cocina...) y agronómicos (adaptación de variedades, asociación de especies en las rotaciones, control biológico, manejo de la fertilidad...); unos valores incluidos en las prácticas agroecológicas mapuches. El acompañamiento a las comunidades, inicialmente de carácter técnico-económico, se orientó al reconocimiento de un producto marcado por la identidad mapuche y las prácticas asociadas.

### Perspectivas y Conclusiones.

La diversidad de las formas de relacionarse de los productores con el mercado demuestra la capacidad de innovación (y por contraste de permanencia) de los (cada vez más numerosos y diferentes) actores de la cadena de valor de la quinua: nuevos productos, nuevos sellos de calidad, nuevas gobernanzas, nuevas alianzas, nuevas prácticas institucionales.

Si bien las experiencias bolivianas, peruanas, ecuatorianas y chilenas, presentadas en este capítulo, comparten muchas similitudes en el proceso de revalorización de la quinua, existen aún muchas particularidades. La orientación exportadora iniciada en Bolivia en los 90's se difunde en los demás países. Tanto en Bolivia como en Perú o en Ecuador compite el modelo de la economía social y solidaria (cooperativas, asociaciones de productores que manejan el procesamiento y hasta la exportación de la quinua) con el modelo capitalista, que se matiza de responsabilidad social con la implementación de programas sociales en paralelo con sus estrategias de contractualización.

Frente al desarrollo del cultivo comercial de la quinua en zonas no tradicionales de los países andinos (como la costa peruana) y en el extranjero (como en EEUU o

Francia), los productores andinos han iniciado nuevas formas de valorizar y proteger sus productos, como el reconocimiento de denominaciones de origen de la quinua que se desarrollan rápidamente, el comercio solidario, los circuitos cortos. En esta perspectiva toman importancias: i) la conservación de la biodiversidad cultivada de la quinua y la influencia de las nuevas formas de comercialización en su gestión ii) como así también la gobernabilidad de los territorios quinueros.

### Referencias

Arar M (2009). *Análisis de las estrategias de cooperativas Aymara y gestión de la biodiversidad de la Quinua. Estudio en la comuna de Colchane en el altiplano Chileno*. Memoria de Ingeniero Agrónomo. ISARA-Lyon.

Ayaviri GS, N Choque, G Panamá (1999). La historia de nuestra organización: Asociación Nacional de Productores de Quinua. In Carrasco T, D Iturralde & J Uquillas (eds). *Doce Experiencias de Desarrollo Indígena en América Latina*. Foundation for the Development of the Indigenous Peoples of Latin American and the Caribbean.

Bazile D. (2013). *Développement territorial : le quinoa, un catalyseur d'innovations*. 4 p. CIRAD, Montpellier. [http://www.cirad.fr/content/download/7608/80510/version/2/file/Perspective20\\_Bazile\\_ES.pdf](http://www.cirad.fr/content/download/7608/80510/version/2/file/Perspective20_Bazile_ES.pdf)

Bazile D, J Negrete Sepulveda (eds.) (2009). Quinoa y biodiversidad: Cuáles son los desafíos regionales? *Revista geográfica de Valparaíso* 42 spéc., 1-141.

Bazile D, C Carrié, A Vidal & J Negrete (2011). Modelización de las dinámicas espaciales ligadas al cultivo de la quinua en el Norte de Chile. *MappeMonde* 102,14 p. <http://mappemonde.mgm.fr/num30/articles/art11204.html>

Bravo R, K Andrade, R Valdivia, JL Soto (2010). *Investigaciones sobre especies olvidadas y subutilizadas. Granos Andinos (Quinua, canahua/canihua y amaranto/kiwicha)*. Resúmenes de trabajos de grado y tesis de maestría realizadas en Bolivia y Perú dentro del marco del proyecto IFAD-NUS I y II (2001-2010).

Cáceres Z (2005). *Quinoa: A tradição frente ao desafio dos novos mercados de qualidade*. Tesis Doctoral, CPDA-UFRJ, Rio de Janeiro.

Cáceres Z, A Carimentrand & J Wilkinson (2007). Fair Trade and Quinoa from the Southern Bolivian Altiplano. In Reynolds L, D Murray & J Wilkinson (eds). *Fair Trade: The Challenges of Transforming Globalization*, 180-199. Routledge, Londres & Nueva York.

- Carimentrand A (2008). *Les enjeux de la certification biologique et équitable du quinoa (Chenopodium Quinoa wild): du consommateur au producteur*. Tesis Doctoral Universidad de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines.
- Carimentrand A (2011). Les commerces équitables du quinoa: une analyse de la diversité des filières. *Canadian Journal of Development Studies* 32, 313–323.
- Egoavil-Arce M (1983). *Comercialización de la quinua en el altiplano peruano*. Seminario de historia rural Andina, Universidad Mayor de San Marcos, Lima.
- Fairtrade Internacional (2012). Precios y criterios de comercio justo Fairtrade revisados para la quinua. Cambios principales. Fairtrade Internacional, Bonn.
- Gout J, F Gonzales, C Villca C, JP Nina, M Chila, E Paye & A Baudoin Farah (2013). *Gobernanza local y producción sostenible de quinua en Bolivia*. AVSF, La Paz.
- Healy K (2001). The Quinoa trail: from South American Salt Flats to Western Health Food Stores. In *LLamas, weavings and organic chocolate. Multicultural grassroots development in the Andes and Amazon of Bolivia*, University of Notre Dame, Indiana.
- Hellin J & S Higman (2003). Quinoa and Food Security. In *Feeding the market. South American Farmers, Trade and Globalization*. ITDG publishing, London.
- Hirou B (2011). Cadenas de comercialización de la quinua a nivel regional y nacional e inserción de los pequeños productores. 84 p. AVSF-SIPAE, Quito.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) (1991). Estudio de mercado y comercialización de la quinua real de Bolivia. IICA, La Paz.
- Laguna P (2002). Competitividad, externalidades e internalidades, un reto para las organizaciones económicas campesinas: la inserción de la Asociación Nacional de Productores de Quinua en el mercado mundial de la quinua. *Debate Agrario* 34.
- Laguna P, Z Cáceres & A Carimentrand (2006). Del altiplano sur boliviano hasta el mercado global: coordinación y estructuras de gobernanza en la cadena de valor de la quinua orgánica y del comercio justo. *Revista Agroalimentaria* 22, 65-76.
- Laguna P (2004) *Competitividad de la quinua ecuatoriana en el mercado global de la quinua*. Informe, GTZ, Quito.
- Laguna P (2011). *Mallas y flujos: acción colectiva, cambio social, quinua y desarrollo regional indígena en los Andes Bolivianos*. 522 p. PhD Tesis, Wageningen University.
- Marca Vilca S, W Chaucha Jove, JC Quispe Quispe & V Mamani Centon (2011). *Comportamiento actual de los agentes de la cadena productiva de la quinua en la región Puno*. 82 p. Dirección Regional Agraria Puno, Proyecto Quinua, Puno.
- Ofstehage A (2010). *The gift of the middleman: An ethnography of quinoa trading networks in Los Lipez of Bolivia*. Tesis de maestría, Wageningen University.
- Ofstehage A (2011). Nusta Juirá's gift of quinoa: Peasants, trademarks, and intermediaries in the transformation of a Bolivian commodity economy. *Anthropology of Work Review*, 32(2), 103–114.
- Ofstehage A., (2012). The construction of an alternative quinoa economy: balancing solidarity, household needs, and profit in San Agustín, Bolivia. *Agric Hum Values* 29, 441–454.
- Ordinola M (1999). Nuevos esquemas para la comercialización de la quinua. In *Memorias del primer encuentro internacional sobre quinua*, 10-14 de mayo del 1999, Lima.
- Pinget, K & D van der Heyden (1994). *Estudio de comercialización de la quinua en el mercado nacional: Alternativas para las organizaciones de productores*. PROQUIPO, Potosí.
- Risselborn D (2011). *Market power of middlemen: The case of quinoa in Bolivia*. Tesis de maestría, Stockholm School of Economics.
- Rojas W, JL Soto & E Carrasco (2004). *Study on the social, environmental, and economic impacts of quinoa promotion in Bolivia*. PROINPA Foundation, La Paz.
- Salcines F (2009). *Cadena agroalimentaria de la Quinua y de la maca peruana y su comercialización en el mercado español*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- Ton G & J Bijman (2006). *The role of producer organizations in the process of developing an integrated supply chain: Experiences from quinoa chain development in Bolivia*. 7th international conference on management in agrifood chains and networks, 31 May–2 June 2006, Ede.





## PARTE 5.

# CONTEXTO DEL CULTIVO EN SU ÁREA ORIGINARIA.





**CAPÍTULO: 5.1.a****TÍTULO: LA QUINUA EN BOLIVIA:  
PERSPECTIVA DE LA FUNDACIÓN  
PROINPA.**

*\*Autor para correspondencia:* Antonio Gandarillas <[a.gandarillas@proinpa.org](mailto:a.gandarillas@proinpa.org)>

ANTONIO GANDARILLAS<sup>a\*</sup>, WILFREDO ROJAS<sup>b</sup>, ALEJANDRO BONIFACIO<sup>b</sup>, NORKA OJEDA<sup>a</sup>

**Autores:**

<sup>a</sup> Fundación PROINPA; Av. Meneces s/n, Km. 4 El Paso, Cochabamba – Bolivia.

<sup>b</sup> Fundación PROINPA; Américo Vespucio 538, Piso 3, La Paz – Bolivia.

**Resumen**

Las inversiones en el desarrollo de tecnología para un cultivo de la importancia de la quinua en Bolivia han sido históricamente limitadas, a pesar de ello se han logrado importantes avances en la conservación de recursos genéticos y en la selección y generación de variedades. En menor grado se han atendido temas como el manejo integrado de plagas, la fertilidad y la mecanización. Por otro lado, cabe destacar que se han realizado importantes inversiones en plantas de procesamiento, con capacidades y estándares internacionales.

La última década se ha denominado el boom de la quinua boliviana, por su gran crecimiento y rápida penetración en los mercados internacionales. Los volúmenes de producción y los valores de exportación han pasado de 1000 Tn y 1.164.000 USD el 2000 a 40.000 Tn y 140.000.000 USD el 2013. De ser un cultivo local ha pasado a ser un cultivo global, generando grandes beneficios para miles de productores bolivianos, que han salido de la pobreza, pasando en muchos casos de ingresos de menos de 1.000 USD a más de 15.000 USD al año.

Como era previsible, agricultores que vivieron en la pobreza por varias generaciones han encontrado una gran oportunidad en la quinua, provocando un cultivo intensivo, frecuentemente sin tomar en cuenta las condiciones de una zona de suelos frágiles con bajo contenido de materia orgánica y susceptible a la erosión. Esto ha traído como consecuencia varios desarreglos a las prácticas tradicionales de

cultivo, entre ellos el equilibrio del sistema junto a la cría de llamas y el respeto a las normas comunales. Actualmente existen varias iniciativas públicas y privadas tendientes a revertir esta situación.

Existen voces de preocupación de que el consumo de la quinua entre los productores del altiplano sur ha disminuido poniendo en riesgo un apropiado balance nutricional. Sin embargo, estudios recientes muestran que efectivamente ha disminuido el consumo, aunque debido a los mejores ingresos su estructura alimenticia ha variado, se ha incrementado el consumo de frutas, hortalizas, carnes, etc. A nivel nacional, a pesar de los altos precios, la tendencia del consumo per cápita es creciente, esto gracias a políticas de fomento de parte del gobierno.

El presente capítulo también describe las principales zonas de producción de Bolivia, desde las zonas tradicionales como el altiplano y los valles, y las nuevas zonas como las punas y las zonas bajas del oriente, que pueden ser determinantes en favorecer el consumo nacional.

**<sup>1</sup>Introducción al contexto general de la Quinua en Bolivia.**

De acuerdo a Gandarillas (1982) la meseta andina constituida por el altiplano peruano-boliviano y los valles interandinos de ambos países mas las serranías del Ecuador, fueron cuna de grandes civilizaciones y centro de origen de varios cultivos andinos,

<sup>1</sup> La Estación Experimental Patacamaya actualmente es administrada por la Universidad Mayor de San Andrés UMSA.

entre ellos la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), que jugó un rol fundamental para su desarrollo y evolución. Durante el proceso de domesticación de las especies silvestres que crecían en los valles habrían aparecido los primeros híbridos espontáneos entre dos especies diploides *Ch. petiolare* y *Ch. hircinum* (Gandarillas, 1984) cuya progenie generó una importante variación genética, la cual, sujeta a la presión de la selección natural y a la acción del hombre, fue modificada paulatinamente hasta llegar a la quinua cultivada que conocemos actualmente (ver los capítulos 1.3. La Domesticación y Distribución Prehistórica y 1.4. Dinámica de expansión mundial del cultivo de la quinua). Se sabe que pobladores de estas culturas ancestrales realizaban largos viajes entre zonas ecológicas diferentes llevando consigo semillas que, por la acción de la hibridación natural posterior entre quinuas de valle y del altiplano dieron lugar a la variación genética, las mismas que fueron hábilmente aprovechadas para su cultivo y selección de variedades como la Quinua Real (Gandarillas, 1982).

El mismo autor señala que la mayor variación de quinuas cultivadas se halla alrededor del lago Titicaca, extendiéndose desde el Cusco en Perú hasta el lago Poopó en Oruro, Bolivia. También sugiere que la quinua no es un legado de los Incas, sino más bien de las culturas anteriores. Al respecto, Bruno (2005), ha reportado evidencias de la domesticación de la quinua por la cultura Chiripa hace 1500 años a.C.

Históricamente la quinua en Bolivia ha tenido una importancia local, utilizada y consumida principalmente por familias de las áreas rurales. Por su gran valor nutritivo, han existido varias iniciativas y esfuerzos para incrementar su consumo, con resultados importantes pero insuficientes para jugar un rol importante en la dieta nacional.

Sin embargo, en los últimos 20 años, la quinua ha tenido un crecimiento sostenido de su producción, principalmente en el altiplano sur del país. La quinua es prácticamente el único cultivo de valor comercial que se adapta a las características de esta zona, una de las más secas del país, ubicada a una altura de 3750 m.s.n.m con una precipitación promedio de 200 mm anuales y alrededor de 200 días de heladas al año (Gandarillas, 1982; Orsag, 2011).

Hasta los años 80, el cultivo de la quinua en el altiplano sur se realizaba casi exclusivamente en

suelos de ladera y pie de monte de las colinas y serranías, bajo un sistema de producción tradicional —en mantas, con rotaciones bianuales de cultivos (barbecho/quinua) y suelos en descanso, uso de estiércol y otros— que evitaba el deterioro de las tierras y el ambiente en general. La cría de ganado —camélidos, ovinos y otros— era otra de las actividades importantes en la región, garantizando así la producción de estiércol, fundamental para mantener la fertilidad de los suelos agrícolas (Orsag, 2011).

Para las familias de agricultores del altiplano, por varias generaciones pobres, con pocas perspectivas de dejar esta condición, con altas tasas de migración a las ciudades y al exterior, el éxito internacional de la quinua, representa una oportunidad imposible de dejar pasar. Como era previsible, esta situación ha traído grandes y severos cambios a las formas tradicionales de cultivo de la quinua, a las estructuras sociales y al nivel de ingresos, principalmente en el altiplano sur.

Después de los años 80 el cultivo pasó de las laderas a las planicies, donde los suelos son frágiles, de textura arenosa y bajos contenidos de materia orgánica, por tanto altamente susceptibles a la erosión eólica e hídrica. Este problema se vio agudizado por el impulso de cultivar grandes extensiones, se introdujo maquinaria agrícola pero con poca experiencia en su uso de acuerdo a las condiciones de suelos frágiles, se redujo la población de llamas por representar excesivo trabajo y bajo retorno económico comparado con la quinua, con la consecuente reducción de estiércol. La ampliación de la quinua hacia las planicies, fue favorecida por la introducción del tractor agrícola y el calentamiento global que reduce los riesgos de helada. Las grandes superficies sembradas en forma continua con quinua dieron lugar a un desequilibrio ecológico y al mayor ataque de plagas y enfermedades. Por otro lado, este rápido crecimiento trajo problemas sociales, dejando de respetar las costumbres de cultivo en mantas y en otros casos, hijos de ex agricultores retornaron de las ciudades a sus comunidades, exigiendo derechos sobre sus tierras, debilitando así las prácticas ancestrales y la misma organización comunal (Vieira, 2012; Winkel, 2013).

Dado este contexto favorable a la quinua, a partir de la década del 2010, el gobierno boliviano ha realizado su promoción en diferentes ámbitos, producción, consumo, procesado, exportación, etc.

(Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, 2009). Este esfuerzo ha desembocado en la declaratoria del Año Internacional de la Quinua el 2013 por las Naciones Unidas. Paralelamente se han alzado muchas voces de preocupación y crítica al crecimiento acelerado de la quinua en Bolivia, la degradación de los suelos, los altos precios y el bajo consumo nacional (Jacobsen, 2011; Winkel et al. 2012). Las propuestas de soluciones son coincidentes entre varios autores, aunque muchas de ellas muy difícil de ser implementadas en grandes extensiones.

### **Historia de la investigación en quinua.**

#### *La investigación en el pasado.*

El inicio de la investigación formal y sistemática de la quinua en Bolivia fue en el periodo 1965-1971, con base en la Estación Experimental de Patacamaya, mediante el Proyecto de Cultivos Andinos cofinanciado por el Gobierno Boliviano y OXFAM FAO Bolivia II (Gandarillas, 2001). Los principales técnicos involucrados fueron los Ingenieros Argos Rodríguez, Humberto Gandarillas, Segundo Alandía y como asesor el Dr. Martín Cárdenas. En este periodo se sentaron las bases del mejoramiento genético, de la conservación de recursos genéticos, del cultivo comercial y del manejo de plagas.

Conociendo la importancia de la diversidad genética de la quinua, se recolectaron como 1000 accesiones en gran parte del territorio boliviano y del sur de Perú, posteriormente se recibieron donaciones de la Universidad Técnica de Oruro y del IICA Perú alcanzando las 1375 accesiones (Rojas et al. 2001). Producto de evaluaciones de este material en la Estación de Patacamaya, se dio origen al establecimiento y descripción de 17 razas de quinua (Gandarillas, 1968). Este material fue la base del banco de germoplasma boliviano, ahora el más importante a nivel mundial.

Ya en esa época la preocupación era incrementar el consumo nacional de quinua, por ello el proyecto hizo énfasis en la obtención de variedades dulces, con el propósito de eliminar la tarea laboriosa de remover la saponina y al mismo tiempo bajar el costo del procesado del grano. Con éxito en 1967 se obtuvo y distribuyó la variedad Sajama, la primera variedad del país proveniente de la hibridación dirigida entre quinua dulce y Quinua Real seguida por selección, y que tolera temperaturas de hasta 6°C bajo cero (Gandarillas, 2001).

Para determinar el método de mejoramiento a emplearse en la quinua se estudiaron los siguientes aspectos: tipos de flor, duración de la floración, modo de reproducción, porcentaje de polinización cruzada, autofecundación y su efecto sobre el vigor de la progenie, técnicas de cruzamiento, métodos para estudiar la progenie de los cruzamientos: método de la línea o pedigree y método masal.

En el campo de la producción se estudiaron las necesidades de elementos fertilizantes y dosificación de los mismos, épocas de siembra y densidad de siembra con riego y secano. Se estudiaron las plagas y enfermedades de la quinua y los respectivos métodos de control.

El Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA) fue creado en 1975, en este marco institucional se ejecutó el Proyecto IBTA-CIID Canadá (1978 – 1991). En este periodo se hicieron recolecciones y evaluaciones del germoplasma de quinua, se dio énfasis al mejoramiento genético, la identificación de los mecanismos de herencia de varios caracteres cualitativos, estudios de androesterilidad citoplasmática, agronomía del cultivo, estudio de plagas y enfermedades, nutrición, extensión e industrialización (Gandarillas, 2001).

Durante este periodo se obtuvieron las variedades Huaranga, Chucapaca, Kamiri y Samaranti las tres primeras a través de hibridación y selección y la última por medio de selección. La variedad Chucapaca actualmente continúa siendo producida principalmente en el altiplano centro y se destaca por su alto rendimiento, tamaño grande del grano y tolerancia a temperaturas hasta de 6°C bajo cero.

Luego, también en el marco del IBTA, se implementó el Proyecto IBTA-BM (1992-1997). El mismo incluía los principales rubros de la seguridad alimentaria en Bolivia, papa (que correspondía al programa de investigación de la papa - PROINPA), trigo, quinua, leguminosas, maíz así como ganadería y forrajes. El resultado más destacado de este proyecto fue la importante inversión en recursos humanos, por primera vez, más de 30 profesionales bolivianos salieron a estudiar sus maestrías y doctorados en universidades de EEUU, Europa y Latinoamérica.

Durante el Proyecto IBTA-BM se obtuvieron y liberaron las variedades Sayaña, Ratuqui, Robura, Santamaría, Intinayra, Surumi, Jilata, Jumataqui y Patacamaya (Espindola y Bonifacio, 1996; Rojas y

Ordoñez, 1998). Otro resultado muy importante fue la homogenización mediante selección masal de variedades locales del altiplano sur, entre ellas: Real Blanca, Toledo, Utusaya, Rosa Blanca, Kellu, Pandela, Chillpi, Achachino, Manzana, Toledo Amarilla, Real Elba, Rosada y Lipeña.

Cuando se decidió cerrar el IBTA en 1997, los programas pasaron a depender de las prefecturas, en el caso del Programa Quinua y el Banco de Germoplasma que tenían base en la Estación Experimental de Patacamaya, pasaron a la Prefectura de La Paz bajo la tuición de Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG). Las autoridades de la Prefectura de esa época, personas sin criterio ni compromiso con el sector agrícola del país, administraron irresponsablemente la Estación de Patacamaya hasta que perdieron completamente el banco de germoplasma así como el material genético del programa de mejoramiento de la quinua<sup>®</sup> por la intervención violenta de los comunarios vecinos de la zona.

En los últimos años del IBTA, el proyecto PREDUZA (Proyecto de Resistencia Duradera de la Zona Andina), coordinado por la Universidad de Wageningen, firmó un convenio con el IBTA para trabajar en resistencia duradera contra la enfermedad del mildiu en la quinua (*Peronospora variabilis* Gaum). En el marco de ese proyecto, en los períodos agrícolas 1997-1998 y 1998-1999, se evaluó toda la colección de quinua por resistencia al mildiu. Se estableció una parcela para la evaluación del 100% de las accesiones en la Estación de Patacamaya, una réplica de 50% en la Estación de Belén y otra réplica de 50% en la Estación de Choquenaira, ambas ubicadas en zonas más húmedas y dependientes de la UMSA. Enterados de la intervención de Patacamaya y la pérdida del Banco de Germoplasma, los investigadores del ex-IBTA, se pusieron manos a la obra para reconstituir el banco de germoplasma en base al material en proceso de evaluación.

#### *Situación actual de la investigación.*

Al cierre del IBTA en 1997, se creó la Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA) gracias a la iniciativa y apoyo de la Cooperación Suiza COSUDE, el Centro Internacional de la Papa (CIP) y el Ministerio de Agricultura, con el propósito de mantener una capacidad de desarrollo tecnológico en el país, libre de influencias políticas

y capacidad de respuesta rápida a las demandas de los agricultores. Si bien en sus inicios solo trabajaba con papa, sus ejecutivos, preocupados por la falta de institucionalidad de la investigación agrícola en el país y particularmente en un cultivo de tanta importancia como la quinua, en 1999 decidieron incorporar el rubro quinua y pasaron a trabajar en PROINPA los mejores y más experimentados investigadores del ex Programa de Investigación de Quinua del IBTA. Las decisiones tomadas en esos momentos fueron cruciales para evitar la pérdida de muchos años de trabajo y del patrimonio genético que representaba para el país el banco de quinua. Luego ya en el marco de PROINPA se implementó el Banco Nacional de Granos Altoandinos que conocemos actualmente.

Una vez constituido este Banco, se logró el apoyo de la cooperación internacional, Cooperación Danesa (DANIDA) e IPGRI (actualmente Bioversity International). Posteriormente, el Ministerio de Agricultura a través del SINARGEAA (Sistema Nacional de Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación, 2003-2008) ratificó la custodia del Banco de Germoplasma de Granos Altoandinos a PROINPA. En junio de 2008, el gobierno de Bolivia crea el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF). En julio de 2010 el Banco Nacional de Granos Andinos fue transferido al INIAF tanto el material genético como la documentación y equipamiento (Rojas et al. 2010).

Trabajar en la Fundación PROINPA demandó un cambio de mentalidad para todos los investigadores, de ser dependientes de fondos estables del Tesoro General de la Nación se pasó a concursar por recursos en el ámbito nacional e internacional, lo cual exigía ser mucho más competitivos, relacionarse con investigadores del mundo y someterse a auditorías anualmente. En este sentido se obtuvo un valioso financiamiento de largo plazo de la Fundación McKnight y se contó con el asesoramiento de investigadores de la Universidad de Brigham Young (BYU), particularmente en herramientas modernas de biología molecular.

Una de las actividades de este proyecto, junto al posterior financiamiento para los bancos de germoplasma en el marco del SINARGEAA y luego por el INIAF (2008-2010), fue la consolidación del manejo y conservación del Banco Nacional de Granos Altoandinos (2001-2010), que incluía: quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), cañahua



(*Chenopodium pallidicaule* Aellen), amaranto (*Amaranthus caudatus* L.), atriplex (*Atriplex* sp.), cauchi (*Suaeda foliosa* Moq) y paico (*Chenopodium ambrosoides* L.), acondicionamiento de las formas de almacenamiento para conservar viable la semilla, colectas complementarias (centralizada y descentralizada), caracterización y evaluación agromorfológica y molecular, conformación de la colección núcleo de quinua con herramientas clásicas y moleculares y determinación del valor nutritivo (Rojas et al. 2010b).

Posteriormente, llegaron también a Bolivia las corrientes internacionales de trabajos con cultivos olvidados y subutilizados (Neglected Underutilized Species - NUS), y desde el 2001 se condujeron importantes proyectos en coordinación con Bioversity International, se fortalecieron las capacidades de conservación *ex situ* de las colecciones de germoplasma de quinua, cañahua y amaranto, se dieron los primeros trabajos de conservación *in situ* en comunidades del altiplano, del lago Titicaca y zonas altas de Cochabamba, se promovió el uso directo de accesiones promisorias de quinua por los agricultores conservacionistas, se procedió a la determinación de la riqueza de variedades de quinua, de los usos locales y de los roles y responsabilidades de los miembros de la familia, y de acceso a mercados de alto valor del concepto de uso de la agrobiodiversidad (Rojas et al. 2010a).

Con financiamiento de la Fundación McKnight, se dio prioridad a la búsqueda de variedades mejor adaptadas a los efectos del cambio climático (lluvias tardías y concentradas en periodos cortos), para esto se trabajó en mejoramiento para resistencia al mildiu, tolerancia a sequía y precocidad, incorporando selección multicriterio, es decir, incluyendo otras características del grano como color, tamaño y calidad industrial (Bonifacio et al. 2006). Además se desarrollaron y emplearon marcadores moleculares SSR, SNP, con el valioso apoyo de la Universidad de BYU (De Jarvis et al. 2008, Maughan et al. 2012, Jellen et al. 2011). En este periodo se liberaron seis variedades: Jacha Grano, Kurmi, Blanquita, Qusuña, Aynoqa y Horizontes. Semilla de estas variedades junto a las liberadas anteriormente, fueron multiplicadas y distribuidas ampliamente, entre 1500 a 2000 kg anualmente, la que a su vez fue remultiplicada por los productores. Gracias a los trabajos de mejoramiento genético, la

quinua obtenida para las condiciones del altiplano central, tiene el tamaño de grano de la Quinua Real, característica muy apreciada en el mercado nacional e internacional. En los últimos años se han iniciado estudios de las características agroindustriales, entre ellas: almidón, amilosa, amilopectina, diámetro de gránulo de almidón, azúcares reductores y agua de empaste, para plantear las nuevas líneas de investigación orientadas a atender demandas específicas de la industria del procesamiento en Bolivia (Vargas, Bonifacio y Rojas, 2013).

Ante las críticas al monocultivo de la quinua y la expansión indiscriminada de la superficie sembrada que deriva en la insostenibilidad de la producción, varias instituciones entre ellas PROINPA han incursionado en la investigación y aprovechamiento de las especies arbustivas del altiplano destacando las experiencias en la recolección, siembra y trasplante de arbustos y pastos y particularmente el grupo de las leguminosas nativas (IBCE, 2013).

También se debe destacar que existen otros importantes actores del desarrollo tecnológico de la quinua en Bolivia, entre ellos las Universidades, particularmente la Universidad Técnica de Oruro (UTO), la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), el Centro CPTS y la Fundación FAUTAPO.

La Universidad Técnica de Oruro (UTO), a través de la Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, desde 1995 ha realizado varios trabajos de investigación por medio de tesis de grado en varios temas: mejora de la mecanización agrícola, adaptación al cambio climático, manejo ecológico de suelos, manejo ecológico de plagas, manejo de la agrobiodiversidad, sistemas de riego y producción de arbustos, pastizales y pasturas. El 2008 ha constituido el Centro de Investigación de la Quinua con base en Salinas de Garci Mendoza (Barrientos et al. 2013).

La Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), ha realizado varios trabajos para incrementar el rendimiento de quinua aplicando niveles de abonamiento orgánico y láminas de agua en momentos críticos de su fase de desarrollo, junto a un buen manejo del cultivo y control de plagas (Orsag et al. 2013). A través del proyecto QUINAGUA-SUMAMAD se realizaron estudios sobre el manejo edafoclimático adecuado de la quinua, considerando que el manejo del agua y la fertilidad se constituyen en elementos fundamentales para el desarrollo del

cultivo (García et al. 2013).

El Centro de Promoción de Tecnología Sostenible (CPTS), con mucho éxito ha resuelto uno de los principales cuellos de botella de la comercialización de la quinua, el procesamiento (beneficiado) que debe eliminar la saponina e impurezas sin perder nutrientes. En el transcurso de más de una década de investigación ha realizado importantes aportes en el diseño de las máquinas, por un lado haciéndolas más eficientes en el consumo de agua, energía eléctrica y energía térmica, utilizadas para el secado, y por otro reduciendo sustancialmente los costos. Más de 10 empresas actualmente utilizan tecnología del CPTS en sus líneas de beneficiado ([www.cpts.org](http://www.cpts.org)). Esta institución también destaca por el diseño de tecnología y equipos para la producción ecológica de la quinua, que consiste en sembradora, trilladora, regadora, fumigadora y cosechadora.

FAUTAPO mediante el Programa Complejo Productivo Altiplano Sur (COMPASUR), ha logrado importantes resultados incrementando la competitividad del altiplano sur, basados en la Quinua Real, la ganadería y el turismo rural (Fundación FAUTAPO – Compasur, 2013). Sus aportes incluyen actividades relacionadas a la sostenibilidad de la producción, la fertilidad de los suelos, el fomento de la producción orgánica, el fortalecimiento de las organizaciones de los

productores, la transformación e industrialización de la Quinua Real.

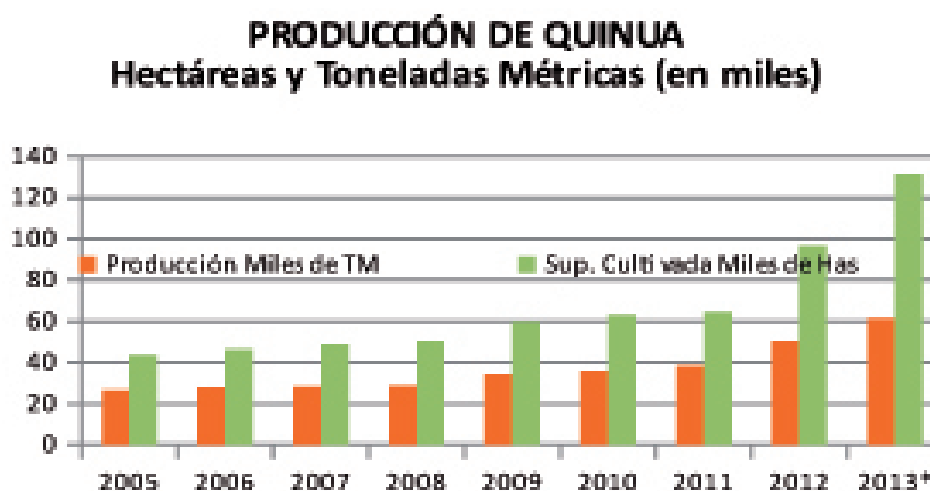
El Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria (INIAF) ([www.iniaf.gob.bo](http://www.iniaf.gob.bo)), creado en junio del 2008, en el marco de la implementación de sus Programas Nacional de Investigación estableció el Programa Quinua en 2012, con dos aliados estratégicos, la UTO y PROINPA. Es también importante mencionar el financiamiento de la cooperación internacional y organismos multilaterales a la investigación en quinua en Bolivia, entre ellas: CIID-Canadá, BID, BM, Fundación McKnight, USAID, PNUD, IFAD, Holanda, Danida.

#### Importancia de la quinua en Bolivia.

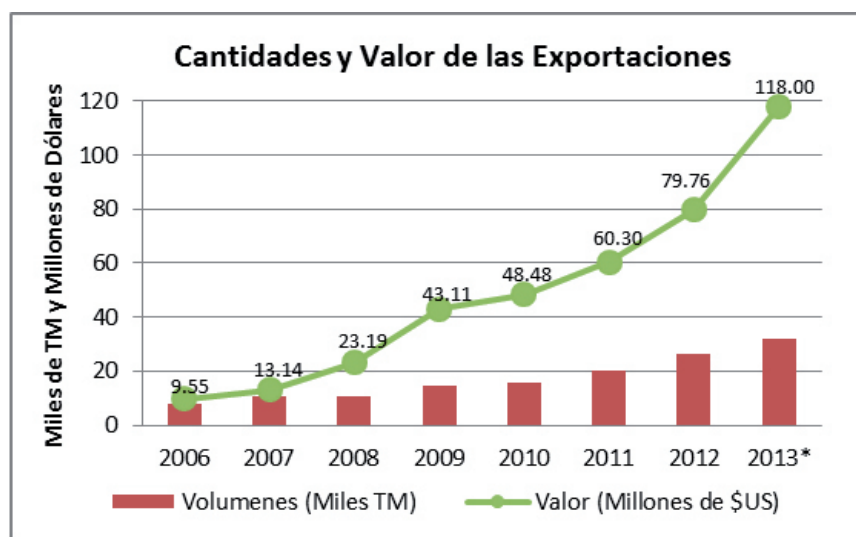
En este punto se hará referencia particularmente al crecimiento de la quinua en el altiplano sur, donde el cultivo de quinua se ha incrementado significativamente y de donde se obtiene la Quinua Real de exportación.

A continuación se presentan varios gráficos con datos sobre la evolución de la superficie cultivada y los volúmenes de producción (Cuadro 1); los volúmenes, el valor de la exportación y su destino (Cuadros 2 y 3); los ingresos brutos para los agricultores (Cuadro 4), el destino de la producción (Cuadro 5) y los rendimientos (Cuadro 6).

**Cuadro 1.** Superficie cultivada y volúmenes de producción



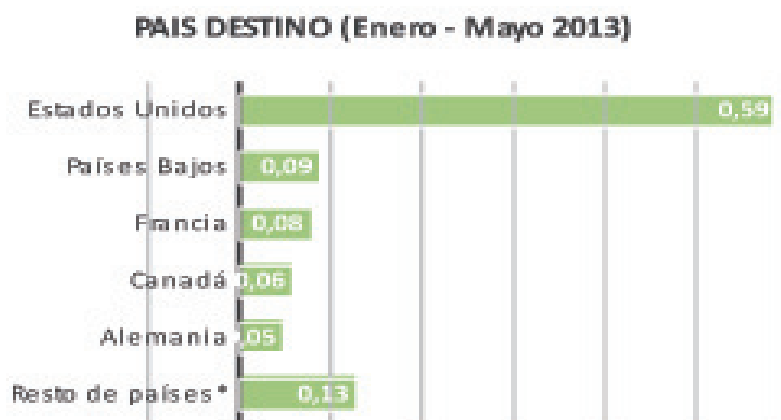
Fuente: IBCE/ SISPAM/INE

**Cuadro 2.** Comportamiento de la exportación (Quinua perlada)

Fuente: CABOLQUI/IBCE

Como se puede observar en los Cuadros 1 y 2, un crecimiento importante de la quinua ocurrió entre los años 2000 y 2007, pero el mayor crecimiento, o *boom* como se ha venido a denominar, es desde el 2007 al 2013. La superficie cultivada pasó de 50000 a más de 120000 has, el volumen producido de 28.000 a 60.000 TM, el valor de exportación de 12 a más de 100 millones de dólares. La mayor demanda procede de Estados Unidos, Europa y Canadá (Cuadro 3), el grano de quinua, de estar presente solamente en los mercados solidarios se movió a

los anaqueles de todos los supermercados. Este periodo coincide por un lado con una tendencia mundial de un consumo más sano, nutritivo y orgánico, y por otro, se orienta hacia una población de celíacos (intolerantes al gluten presente en los cereales) cada día mayor. Esta coyuntura representa una oportunidad excepcional para el grano de oro de los Andes, cumple con todos los requisitos, y además se refuerza con una historia de cultivo exótico y milenario, de crecer en los Andes bolivianos, entre salares y nevados.

**Cuadro 3.** Comportamiento de las exportaciones (Montos totales entre Enero – Mayo 2013)

\*Australia, Brasil, Israel, Reino Unido y Otros

Fuente: MDRyT/ INE

Dada esta gran oportunidad internacional para la quinua, se generan importantes inversiones en Bolivia, promovidas desde el gobierno, iniciativas privadas y un importante apoyo de la cooperación internacional, entre ellas de países como Dinamarca, Holanda y Estados Unidos. Se consolida la más importante asociación de productores (ANAPQUI), se establecen varias empresas y plantas de procesamiento organizadas alrededor de la Cámara Boliviana de la Quinua (Cabolqui). Bolivia participa en los eventos y ferias de producción orgánica más importantes en el mundo, se promocionan las excepcionales cualidades nutritivas del grano, se abren mercados y se atrae grandes empresas comercializadoras del exterior.

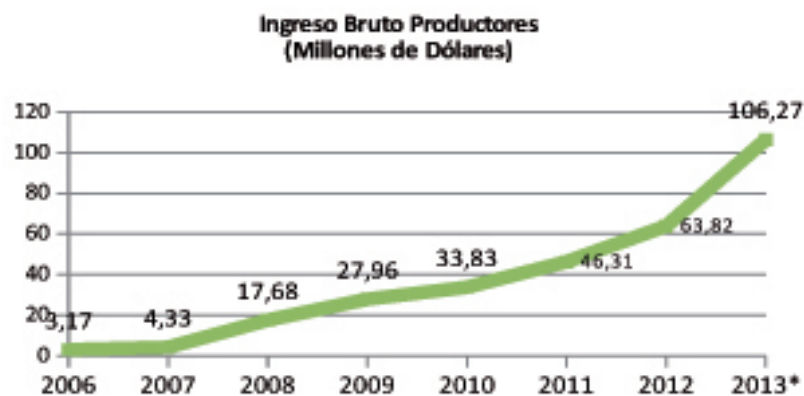
El 2013 Año Internacional de la Quinua (AIQ) produjo otro importante punto de inflexión, se desarrollan actividades por todo el mundo promovidas por los gobiernos de Bolivia y Perú, la FAO, organismos internacionales, países europeos, Estados Unidos, etc., y que logran una promoción global de la quinua. La demanda y el valor de la quinua tienen un incremento extraordinario, esto se aprecia en los datos correspondientes al 2013 (Cuadro 2), cuando Bolivia llega a exportar 6 mil toneladas más que en el 2012. El valor de una tonelada de quinua sube de 3.000 USD en 2012 a más de 3.600 en 2013. Se espera que los próximos años incremente aún más la demanda de la quinua, provocando un verdadero boom, coyuntural e insostenible, donde los consumidores no estén dispuestos a pagar precios tan altos, y eventualmente los precios bajarán y

encontrarán un equilibrio. Otro hecho importante de tomar en cuenta de los efectos del AIQ, es que no solo el consumo se torne global sino también la producción, países de todos los continentes evalúan materiales y buscan establecer sus propios campos de producción. Eventualmente algunos van a tener éxito y lograr cultivos extensivos lo que daría lugar a una mayor oferta internacional y precios más accesibles.

Lo extraordinario de este crecimiento de la quinua es que ha permitido hacer realidad un ansiado objetivo nacional, sacar de la pobreza a miles de familias bolivianas, que se estima corresponden a unas veinte mil. Hace 15 años los ingresos por familia eran de menos de 1.000 USD/año, mientras que actualmente gracias a la quinua pueden alcanzar a más de 15.000 USD/año.

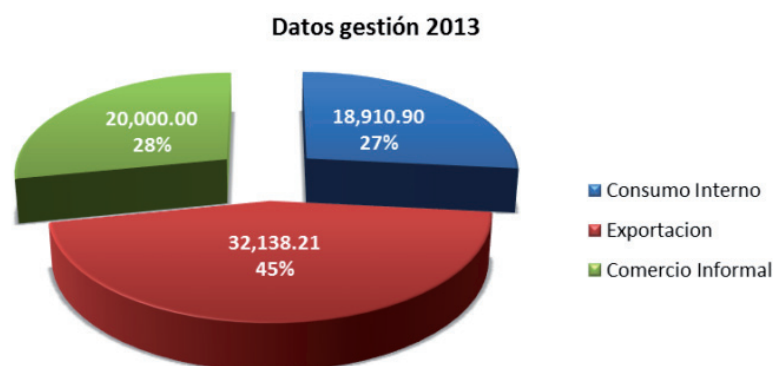
En el caso de la quinua a diferencia de otros cultivos, como la soya en Bolivia, gran parte del beneficio que se obtiene por la exportación llega directamente a los agricultores, se estima que éste representa entre 60 y 70% del ingreso total. En el 2013, habría representado más de 100 millones de dólares (Cuadro 4). También se debe tener en cuenta que un mercado muy importante para la quinua boliviana es el informal, donde la quinua excedentaria se dirige principalmente hacia el Perú, éste representa aproximadamente el 28% de la producción nacional (Cuadro 5) (Vásquez, 2013), que tendría un valor de 20 millones de dólares y en gran medida estaría llegando a los agricultores.

**Cuadro 4.** Ingresos para los productores



Fuente: IBCE / INE / FAOSTAT



**Cuadro 5.** Destino de la producción

Año	Consumo Percápita (Kgr)
2008	0,35
2012	1,11
2013	2,00

Fuente: SISPAM

Un tema que ha entrado varias veces al debate es la disminución del consumo de quinua por los agricultores y los problemas de desnutrición. Sin embargo, por medio de encuestas llevadas a cabo por PROINPA a una muestra de 85 familias en el año agrícola 2012-13, en cuatro provincias del altiplano sur (Ladislao Cabrera, Nor Lipez, Daniel Campos y Antonio Quijarro) se determinó que efectivamente el consumo de quinua ha disminuido tomando en cuenta que anteriormente la quinua era consumida diariamente. Actualmente el 16% de las familias consumen quinua entre 5 a 7 días por semana, y la gran mayoría, que corresponde al 74% de las familias, consumen quinua entre 2 a 4 días por semana, y el 10% consumen una vez por semana. Sin embargo los resultados de las encuestas también indican que se ha incrementado el consumo de carne, cereales, leche, frutas y hortalizas.

Con esta nueva situación, ahora el agricultor tiene mayores ingresos económicos, acceso a crédito y puede decidir en que invertir sus recursos. Las inversiones comunes son la educación de sus hijos (todos los niños y jóvenes acceden a educación básica, secundaria y superior), viviendas no solo rurales sino también en centros urbanos, implementación de servicios básicos (luz, agua, etc.), actividades económicas como el transporte y el comercio, que a su vez generan fuentes de empleo directo e indirecto.

El precio internacional obviamente influye en el precio al interior del país haciendo a la quinua menos accesible a la población en general. A

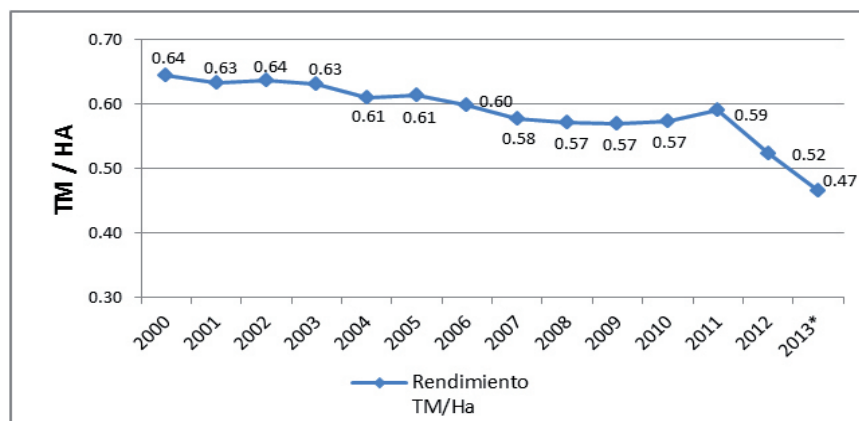
pesar de esta situación, el consumo de quinua en Bolivia se incrementa progresivamente, de 0.35 kg per cápita el 2008 a 1.11 kg el 2011 y se prevé alcanzar 2 kg el 2013 (Cuadro 5) (Vasquez, 2013). Este incremento del consumo se ve favorecido por la promoción de un cultivo saludable y por varios planes del gobierno como el subsidio de la quinua para mujeres gestantes y en periodo de lactancia como también para el desayuno escolar. Tomando en cuenta que la población boliviana es de 10 millones, esto representa 12013 TM. El hecho de que la quinua se comience a cultivar en los valles y llanos, con un tipo de agricultura convencional, se espera que incremente el consumo local, bajen los costos y favorezca el consumo nacional.

La gran demanda internacional de la quinua y los excelentes precios que la acompañaron, han generado tanta expectativa entre los agricultores que, en el afán de no dejar pasar esta coyuntura, se han producido varias prácticas no recomendables en un agroecosistema tan frágil como es el altiplano sur, con suelos de contenido extremadamente bajo de materia orgánica (menos de 1%), baja retención de humedad, predominantemente arenosos y susceptibles a la erosión eólica, lluvias en promedio de 200 mm anuales, que dan lugar a una muy lenta reposición de la cobertura vegetal. Con frecuencia se practica el monocultivo, la ampliación de la frontera agrícola reduciendo las zonas de pastoreo de llamas, la falta de barreras vivas entre parcelas de cultivo, el uso inapropiado de maquinaria agrícola etc. Como consecuencia, los rendimientos por unidad de superficie tienen una tendencia negativa

como se observa en el Cuadro 6. Esta situación también se explica por la falta de tecnología técnica y económicamente factible de ser adaptada por los agricultores. En el punto de Perspectivas de la Quinua en Bolivia de este mismo documento se presenta una breve descripción de la tecnología

existente y en proceso desarrollada por PROINPA tendiente a revertir esta situación. Un importante objetivo nacional es incrementar los rendimientos por unidad de superficie para así bajar los precios sin afectar los ingresos del agricultor y hacer más accesible la quinua a la sociedad boliviana.

**Cuadro 6.** Comportamiento del rendimiento



Fuente: IBCE/FAOSTAT/INE/SISPAM

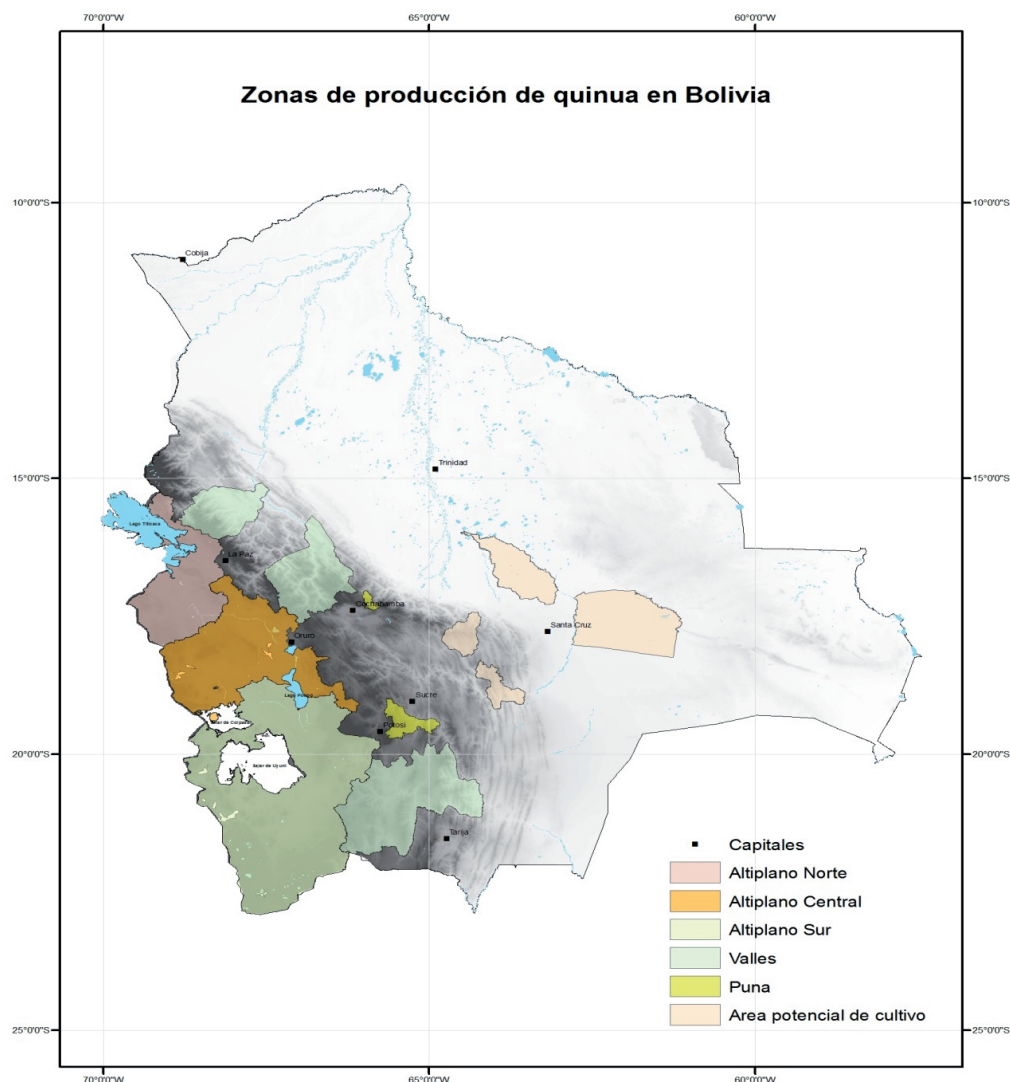
### Zonas de producción de quinua en Bolivia.

Es importante hacer notar que como consecuencia de la coyuntura actual de un gran valor económico de la quinua, mercados insatisfechos y una agresiva promoción del gobierno boliviano, ha generado gran interés de cultivar quinua en todas las zonas de Bolivia.

La principal zona de producción en el país es el altiplano, particularmente el altiplano sur, donde se cultivan grandes extensiones destinadas a la exportación y donde por sus condiciones agroecológicas no es posible desarrollar otro cultivo. La zona más importante de expansión del cultivo es el altiplano central, mientras que en el altiplano norte las superficies son de menor extensión y mayor diversidad de cultivos. Otras zonas importantes de expansión son los valles interandinos, donde los suelos son más fértiles y se obtienen mejores rendimientos; sin embargo, es muy difícil lograr cultivos orgánicos. Las zonas nuevas de interés de cultivo son la Puna semi-árida y árida según clasificación de Liberman (1992) e Ibsch y Mérida (2003) y los Llanos Orientales, donde se pretende adaptar variedades para los cultivos de invierno que puedan entrar en rotación con la soya.

Gandarillas (1982), ha zonificado las zonas de producción de quinua en base a las características del suelo, régimen de los factores del clima, y la posibilidad de producción ganadera y agrícola. Bonifacio (en imprenta 2014), sugiere el reajuste de la división de zonas de producción en base a los cambios que se dan en los sistemas de producción del altiplano y el rol de los municipios en el desarrollo rural. En base a estos criterios a continuación se realiza una descripción de las zonas productoras de quinua en Bolivia (Figura 1) y de las variedades predominantes para cada una de ellas. Un glosario de los nombres y su significado en español de las variedades denominadas en los idiomas ancestrales bolivianos quechua y aymara se presenta en el Anexo 1.

- Altiplano norte
- Altiplano central
- Altiplano sur
- Valles interandinos
- Puna
- Llanos orientales



**Figura 2.** Zonas de producción de quinua en Bolivia

#### *Altiplano Norte.*

Según la subdivisión de zonas de Gandarillas (1982), el altiplano norte es la zona más densamente poblada del país, no solamente porque en ella se practica una agricultura intensiva, sino también porque la población que vive en los márgenes del lago Titicaca además de la agricultura se dedica a la pesca. Según Bonifacio (2013), a la zonificación de Gandarillas (1982) se debe considerar los municipios dentro de cada provincia, puesto que los municipios son entidades que están en proceso de establecer sus estatutos autonómicos y serán unidades territoriales de administración de la actividad

productiva. En ese sentido, el altiplano norte está integrado por los municipios de Copacabana y Tito Yupanqui en la provincia Manco Kapac. Achacachi, Huarina, Ancoraimes en la provincia Omasuyos. Viacha, Tiahuanaco, Laja, Taraco, Guaqui, Jesús de Machaca y San Andrés de Machaca en la provincia Ingavi. Pucarani, Batallas, Puerto Pérez y Laja en la provincia Los Andes. Escoma, Puerto Acosta y Puerto Mayor Carabuco, en la provincia Camacho. Caquiaviri en la provincia Pacajes.

Los suelos del norte son húmedos y ricos en materia orgánica, en algunos municipios existen bofedales que son aprovechados para la cría de

alpacas por la asociación que hay entre esta especie y el suelo húmedo. En los últimos años, el ganado vacuno se ha introducido junto al cultivo de alfalfa, desarrollándose importantes zonas lecheras. Hacia el sur, en la parte circundante al lago Titicaca, los suelos son más pesados por su origen lacustre – aluvial. En las faldas de la cordillera, los suelos varían de textura mediana a liviana. Al sudeste del lago son pedregosos y de textura más liviana. En algunas áreas presentan afloraciones salinas visibles especialmente en la estación de invierno.

En esta zona, y como en el resto del altiplano, la estación lluviosa se extendía de septiembre a marzo, con una precipitación promedio alrededor de 500 mm anuales. Sin embargo, en la última década, el inicio del periodo de lluvias ocurre en noviembre o diciembre, consecuentemente, las siembras de quinua y papa se ven retrasadas. Varios autores (Arana et al., 2007; Saavedra y García, s.a., Andersen y Mamani, 2009; Thibeault, et al 2010, Valdivia et al 2013) coinciden en señalar que el periodo de lluvias se acorta y la intensidad de la lluvia se concentra en menor tiempo. Este nuevo régimen de las lluvias deriva en la demanda de variedades precoces.

Por influencia del lago Titicaca, la temperatura media anual en esta área es más baja que en el

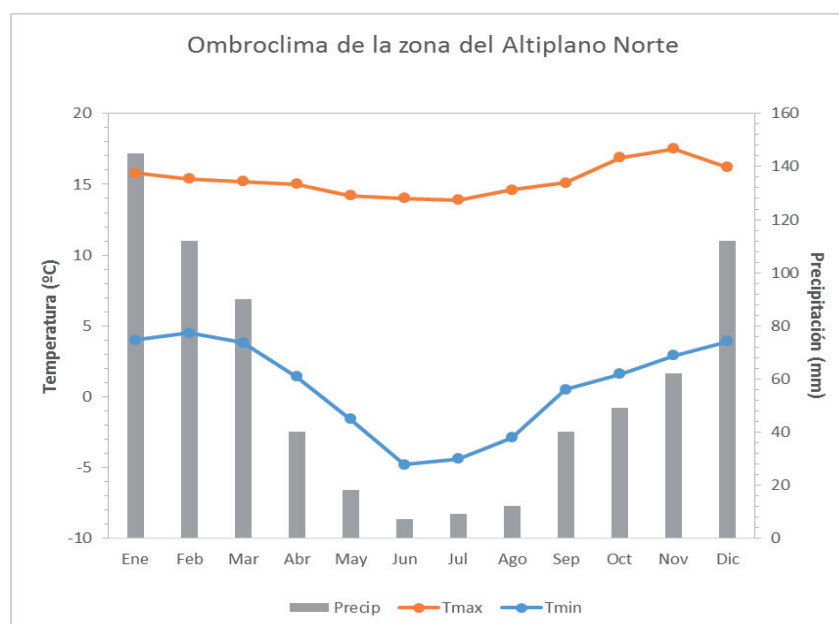
resto del altiplano, esto se atribuye al efecto de la nubosidad y la influencia de las montañas nevadas que flanquean el altiplano norte, la cual está alrededor de 7° C. La temperatura máxima media llega a 14.2° C y la temperatura mínima media entre abril y julio a 4°C (Cuadro 6).

Los cultivos principales son papa, cebada, haba y quinua. Luego vienen los tubérculos menores como la oca, papalisa e izaño y finalmente la cañahua y el tarwi. En los terrenos que cuentan con riego se cultivan con preferencia papa y haba; sin embargo, la producción de la papa está expuesta a frecuentes heladas, excepto en algunos microclimas con influencia del lago Titicaca. En los últimos años han tomado mayor importancia las especies forrajeras como cebada, alfalfa, avena, festuca y pasto ovillo, esto en razón al crecimiento de la ganadería.

La alpaca se cría en las pampas de Ulla-Ulla y las faldas de la Cordillera Real. En las áreas con suelos secos se crían llamas. La explotación ovina está asociada con la producción agrícola en el resto de la zona porque, además de pastorear en las praderas de uso común, se aprovechan los rastros.

A continuación en el Cuadro 7 se presenta el Ombroclima para la localidad de Cachilaya, representativa del altiplano norte.

**Cuadro 7.** Ombroclima de la zona del Altiplano Norte - Cachilaya





Las variedades mejoradas que se adaptan a las condiciones del altiplano norte son Kurmi, Blanquita y Jacha Grano. Entre las variedades nativas se destacan Phisanqalla y Janqu Jupa. Al ser esta zona relativamente más húmeda que las otras, se presenta el mildiu, por lo que las variedades que se cultivan deben tener algún grado de resistencia a esta enfermedad. Además si se cultiva para comercializar en el mercado, el tamaño de grano debe ser igual o mayor a 2.0 mm.

#### Altiplano Central.

La topografía del altiplano central en su mayor parte es plana, está comprendida entre las Cordilleras Oriental y Occidental, cubre la parte norte del departamento de Oruro y las provincias Aroma, Gualberto Villarroel y parte de la provincia Pacajes del departamento de La Paz. Los municipios del altiplano central son Challapata, Pazña, Machacamarca, Toledo, El Choro, Corque, Sabaya, Caracollo, Eucaliptus, Totora, Choquecota, Turco y San Pedro de Curahuara en el departamento de Oruro, Sica-sica, Patacamaya, Umala, Callapa, Curahuara de Carangas, Calamarca, Colquencha, Collana Norte, Corocoro, Caquiviri y Calacoto en el departamento de La Paz.

Los suelos cubiertos de thola (*Parastrephia lepidophylla*, *P. lucida*, *P. quadrangulare* y *Bacharis tola*), son ligeramente ácidos, mientras que

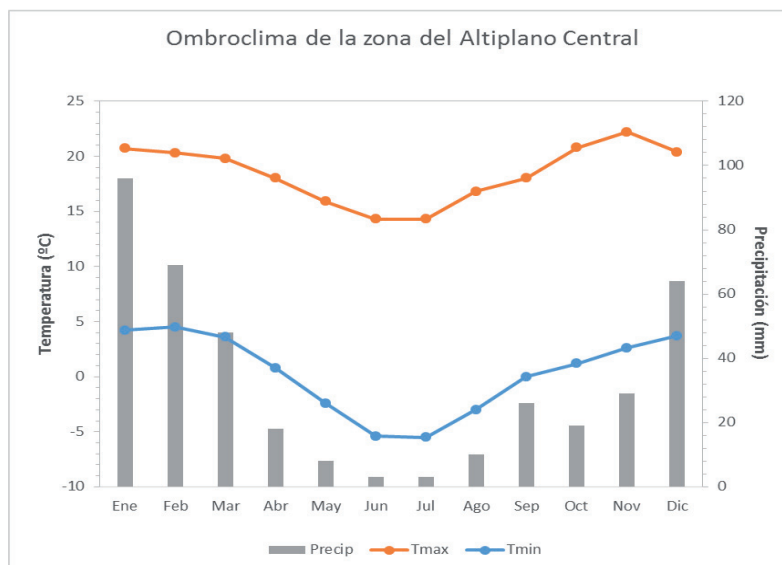
donde predominan las gramíneas son salinos o alcalinos, dependiendo del contenido de sales y la composición química de éstos. La textura de los suelos es, en su mayor parte, mediana y pedregosa, siendo también frecuentes los suelos arenosos, que cubren extensiones considerables, donde la vegetación está constituida por la paja brava (*Festuca ortophylla*) y el ichu (*Stipa ichu*).

La cantidad de lluvia registrada disminuye de norte a sur y de este a oeste. Por ejemplo en la ciudad de Oruro llueve alrededor de 400 mm anuales y en la zona de Sabaya menos de 300 mm.

Los años lluviosos son poco frecuentes pero muy favorables para la producción agrícola. En los años secos, que son la mayoría, solamente una planta como la quinua puede dar cosecha.

La temperatura media anual gira alrededor de 8.7°C que es ligeramente más alta que en la zona adyacente al lago Titicaca por la escasa nubosidad de la zona. La temperatura máxima media llega a 17.7°C y la temperatura mínima media baja entre agosto y noviembre a -2°C y entre abril y julio a -4°C. Normalmente se registran más de 200 días con heladas y no existe un mes del año que no tenga por lo menos una helada. En el Cuadro 8 se presenta el Ombroclima de la localidad de Patacamaya.

**Cuadro 8.** Ombroclima de la zona del Altiplano Central - Patacamaya



Las variedades mejoradas adaptadas al altiplano central son Sajama, Chucapaca, Jacha Grano, Horizontes, Aynuqa Waranqa, Kamiri, Sayaña, Patacamaya, Surumi, Intinaira, Santa Maria, Jumataki, Jilata, Samaranti, Amilda y Robura. Estas variedades son adaptadas a la zona por tener ciclo intermedio, grano mediano a grande. Cuando se introducen a otras zonas como el altiplano sur, presentan problemas de adaptación alargándose el ciclo productivo.

#### *Altiplano Sur.*

El altiplano sur abarca las provincias Daniel Campos, Antonio Quijarro, Nor y Sud Lipez y Enrique Baldivieso de Potosí y las provincias Ladislao Cabrera, Eduardo Avaroa y Sebastián Pagador de Oruro. Toda la zona es extremadamente árida, encontrándose en ella los salares de Uyuni y Coipasa que se extienden en una superficie considerable. Con la creación de municipios y la variación de los factores del clima y la adaptación de la Quinua Real en particular, la configuración actual del Altiplano Sur en el departamento de Potosí abarca los municipios de Colcha K, San Agustín, Tomave, Llica, Tahua, San Pedro de Quemes, Uyuni, Coroma. Los municipios del departamento Oruro incluyen Salinas, Pampa Aullagas y Santiago de Andamarca, Santiago de Huari, Belén de Andamarca, Challapata y Santuario de Quillacas, Chipaya, Coipasa y Sabaya.

El extremo oeste y sudoeste prácticamente es un desierto. La cordillera es rocosa y mineralizada, siendo inservible para la producción agrícola o ganadera, excepto algunas áreas con cerros de origen volcánico donde los agricultores han desarrollado técnicas muy especiales para la producción de quinua exclusivamente manual.

Esta zona es la más seca del país, la época lluviosa empieza recién en enero. La cantidad de lluvia que se registra varía entre 50 y 200 mm siendo la frontera con Chile desértica.

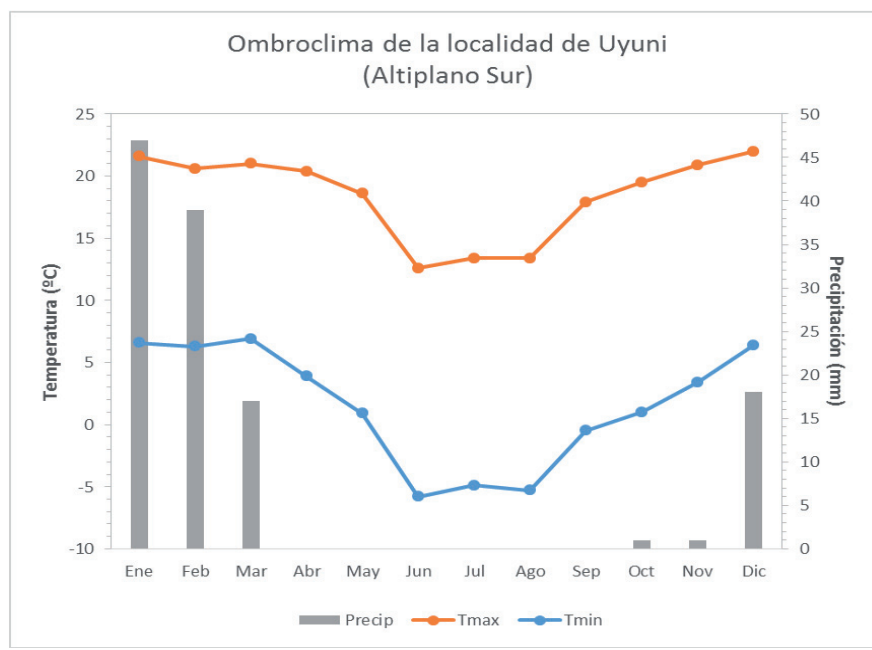
La temperatura media anual solamente llega a 5.7°C. Durante la estación de cultivo, es decir entre diciembre y marzo, es de 11°C, igual a la del altiplano central. La temperatura máxima media en el último período indicado llega a 18°C y la mínima media entre abril y julio a -11°C.

Los suelos son arenosos, constituidos por arenas gruesas, donde la vegetación predominante es la thola. En algunas áreas, la erosión eólica está empezando a formar dunas. En este tipo de suelo y por la poca precipitación, el crecimiento de las gramíneas para pastoreo es escaso.

Algunas áreas se han especializado en la producción de quinua, como es el caso de Salinas de Garci Mendoza, Llica y Colcha-K (zona agroecológica del intersalar) produce la Quinua Real de grano grande, atribuible al genotipo y la interacción con el medio ambiente.

El sector sur y el occidente del altiplano sur son más áridos y los pastos consecuentemente son pobres, excepto a lo largo de los ríos o terrenos mal drenados, donde la cría de alpaca es significativa, como en los bofedales de la cordillera de Azanaques.

La cría de llamas era un rubro importante en el pasado. Sin embargo con la introducción del tractor y el cultivo extensivo de quinua, ha pasado a un segundo plano. La producción de quinua que antes se concentraba en el intersalar, actualmente se ha ampliado a los municipios de Uyuni al Este, Chipaya al Oeste, Santiago de Huari y Andamarca al Norte. Esta zona, predominantemente de planicie, favorece el laboreo con tractor, lo que pone en alto riesgo la sostenibilidad de la producción de quinua y la crianza de camélidos si no se toman las medidas de manejo del recurso suelo y la vegetación. Se presenta el Cuadro 9 el Ombroclima para el altiplano sur tomando como referencia la zona del Uyuni.



Las variedades mejoradas para el altiplano sur son Qusuña y Horizontes. Las variedades seleccionadas son Mañiqueña y Qanchis Blanca; además se cultivan más de 20 variedades locales aunque las preferidas son la Real Blanca, Chaku, Pandela, Toledo y Phisanqalla. Cuando estas variedades se trasladan a otras zonas como el centro y norte de mayor precipitación y más húmedas, son severamente atacadas por el mildiu.

#### *Valles Interandinos.*

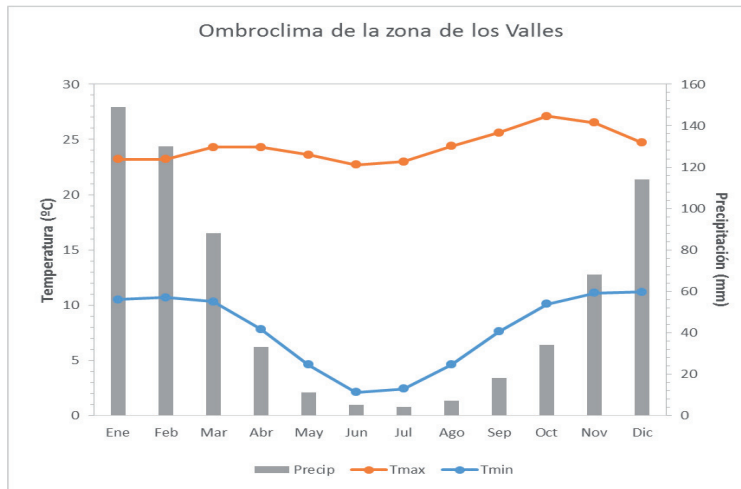
La zona de los valles interandinos se extiende a los departamentos de La Paz, Cochabamba, Potosí, Chuquisaca y Tarija. En esta zona se distinguen los valles ubicados al norte de las Cordilleras Real y Tunari, en los que están incluidos los valles de Sorata, Inquisivi, Independencia y Morochata. Luego vienen los valles del norte, que comprenden los valles del departamento de Cochabamba. Después están los valles centrales de Potosí y Chuquisaca y finalmente los valles del sur, en Tarija, Nor y Sur Cinti en Chuquisaca y Nor y Sur Chichas en Potosí.

Los suelos en esta zona son muy variables, entre pesados, medianos y livianos, siendo en su mayor parte pedregosos y con topografía ondulada, excepto los valles abiertos de Cochabamba y Tarija donde cuentan con riego.

El clima es también muy variable por su topografía, encontrándose en unos pocos kilómetros varios pisos mesotérmicos. Las heladas son frecuentes en la estación seca (entre mayo y julio) aunque existen valles que son aprovechados para la producción de papa temprana y hortalizas en los cuales no se observa este fenómeno.

La precipitación pluvial es también muy variable, con un rango entre 350 y 700 mm. En las pampas de Lequezana ubicadas en Potosí, el promedio de lluvia anual es de unos 400 mm, en cambio en Tarija llega a 700 mm y en Cochabamba a 500 mm.

El cultivo más importante en el fondo de los valles es el maíz. En la parte intermedia el trigo, y sobre los 3.000 m.s.n.m la papa y la cebada. En los terrenos regados es significativa la producción de hortalizas y de frutales. La quinua se cultiva tradicionalmente en todos los valles como cerco a los cultivos de maíz y papa. Sin embargo, en los últimos años existe mayor interés, se tiene referencia de que productores del Valle Alto de Cochabamba han producido quinua con éxito empleando variedades mejoradas como Kurmi, Blanquita y Jacha Grano. En el Cuadro 10 se presenta el Ombroclima para el Valle Alto de Cochabamba.

**Cuadro 10.** Ombroclima de la zona de los Valles – Valle Alto Cochabamba

A la fecha no existen variedades mejoradas para los valles interandinos, sin embargo, las variedades Kurmi y Blanquita han mostrado un buen comportamiento, debido principalmente a su resistencia parcial al mildiu y buena calidad comercial del grano.

#### *La quinua en la Puna.*

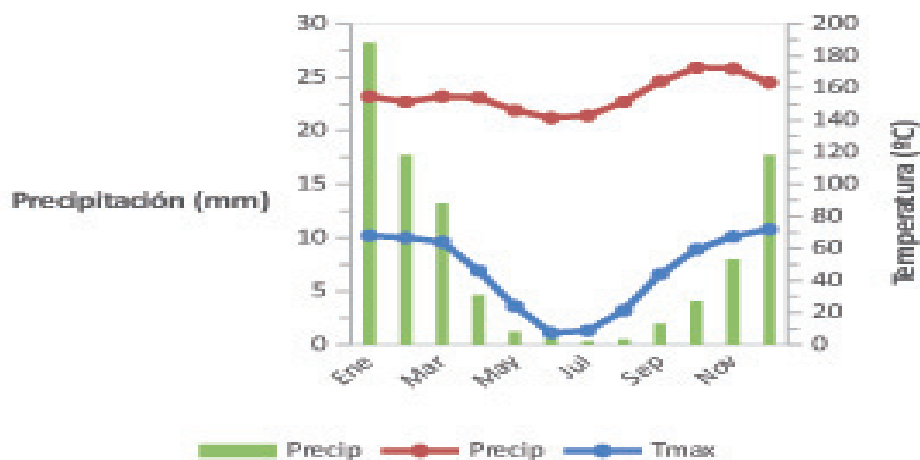
Las zonas de Puna o Cabeceras de Valle no han sido clasificadas como zonas productoras de quinua por Gandarillas (1982); sin embargo, en las últimas décadas, la producción de quinua ha subido a las zonas de altura conocidas como Puna, donde su producción se orienta principalmente al mercado local. Ejemplos de estas zonas de Puna son los municipios de Betanzos y Villazón en Potosí. Colomi y Tiraque en Cochabamba e Iscayachi y Yunchará en Tarija. La altitud de estas

zonas se encuentra sobre los 3.000 m.s.n.m, con una precipitación anual mayor a los 600 mm. y temperaturas medias durante la época de cultivo de 15°C.

En los tres últimos ciclos agrícolas (2010-2013), se evaluó de manera participativa el comportamiento de siete variedades de quinua en varias zonas de Puna de Tarija. Las variedades de mejor performance fueron Sajama, K'ellu y Pasancalla, con rendimientos superiores a los 950 kg/ha. Estos resultados muestran la capacidad de adaptación de la quinua a estas zonas que, para su mayor expansión, requiere el desarrollo de técnicas del cultivo de acuerdo a las condiciones propias del lugar (Martínez et al. 2013). En el Cuadro 11 se presenta el Ombroclima para la localidad de Puna en Potosí.

**Cuadro 11.** Ombroclima de la zona de Puna – Puna Potosí.

#### Ombroclima de la zona Puna



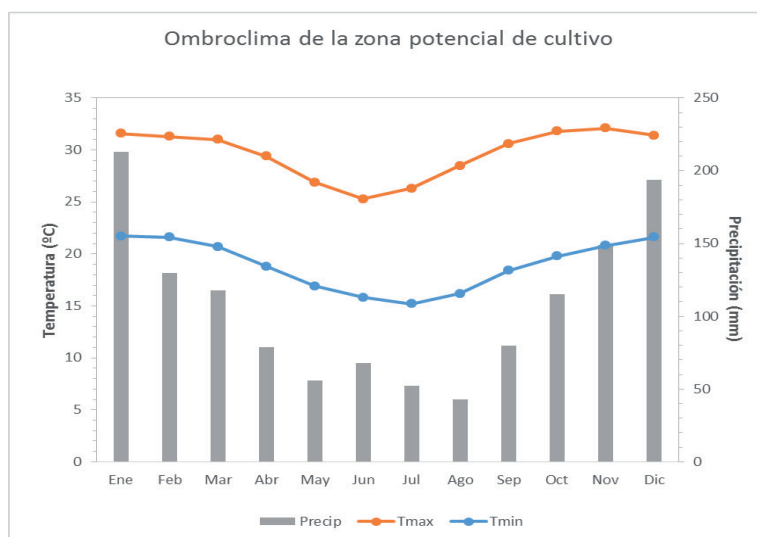


Los precios altos de la quinua han llamado la atención de los productores del oriente boliviano donde se practica una agricultura industrial altamente mecanizada y especializada en producción de soya, maíz, algodón, caña de azúcar y trigo de invierno. Con una altitud alrededor de los 400 m.s.n.m, una precipitación anual sobre los 1000 mm, y temperatura en invierno que varía entre 15 y 25°C. El Ombroclima de la localidad de Chane en Santa Cruz se muestra en el Cuadro 12.

Desde hace aproximadamente cinco años, ANAPO (Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas y Trigo), ha mostrado interés por la introducción de quinua en la zona tropical de Bolivia. A la fecha, el Dr. Alejandro Bonifacio de PROINPA junto al Ing. Marín Condori de la empresa privada de Santa Cruz, están conduciendo las primeras evaluaciones de quinua en siembras de

invierno en estas zonas, lo que se ha venido a llamar la tropicalización de la quinua. Se están evaluando principalmente variedades de valle, los primeros resultados muestran evidencias de variaciones morfológicas y genéticas debido al estrés por las altas temperaturas; sin embargo, ha sido posible obtener grano y cosechar semilla. A nivel morfológico, la variación ocurre en el hábito de crecimiento traducido en mayor ramificación y formación de panoja laxa. A nivel genético muestra cierto grado de inestabilidad, es decir, variación debido a re-arreglos que conducen a la segregación genética. A nivel reproductivo, la elevada temperatura provoca aborto floral que se traduce en deficiencias de llenado de grano y en caso de ocurrencia de lluvias, el grano corre el riesgo de germinar en la misma panoja o provoca el ennegrecimiento del grano por efecto de contaminaciones fungosas. La variación heredable en la quinua, está siendo aprovechada para la selección de material con perspectivas de adaptación.

**Cuadro 12.** Ombroclima de los Llanos Orientales – Chane Santa Cruz.



### Perspectivas de la Quinua en Bolivia.

Uno de los grandes temas de preocupación por el rápido crecimiento de la producción de quinua en Bolivia es la tendencia negativa de los rendimientos (Sección 3, Cuadro 6). La tecnología no ha acompañado este crecimiento, principalmente en el manejo de la fertilidad del suelo y riego, mecanización adaptada a las condiciones agroecológicas, manejo de pasturas y forrajes y

manejo ecológico de plagas.

En este documento se realiza una breve mención de los avances de la Fundación PROINPA:

En el área del manejo integrado de plagas, se ha trabajado en la identificación taxonómica de las especies involucradas y en el desarrollo de tecnología para la producción orgánica, como eco-insecticidas basados en extractos de diferentes especies y feromonas sexuales (Saravia, Bonifacio

y Aduviri, 2011; Figueroa, et al. 2013; Saravia, et al. 2013). En el último periodo, se está trabajando en la cría y evaluación de parasitoides, predadores y entomopatógenos. En el manejo de la fertilidad se han logrado importantes avances en el uso de microorganismos, como promotores de crecimiento, activadores de resistencia, solubilizadores de fósforo, fijadores de nitrógeno, etc. (Ortuño, et al. 2013).

Una de las mayores dificultades para el control de plagas es el hecho de que los agricultores todavía utilizan mochilas de espalda para fumigar. Esto combinado con los altos costos de la mano de obra, hace que las aplicaciones en superficies de 5, 10 o más hectáreas sean ineficientes. Se está trabajando en tecnología para el uso de productos ecológicos que sean aplicados mediante fumigadoras accionadas por tractores. Y por otro lado, se busca que el manejo integrado se convierta en una práctica comunal, es decir, que sea implementado simultáneamente por todos los agricultores.

Para mantener la capacidad productiva de los suelos en una zona de tan lenta reposición natural de la vegetación (suelos habilitados para la agricultura les toma más de 10 años reponer su cobertura vegetal), es esencial la incorporación de materia orgánica. Existen muchas recomendaciones y varias iniciativas de repoblar con vegetación nativa e reintroducir la población de llamas en estas zonas. Obviamente estas son buenas recomendaciones a pequeña escala pero, la dificultad se encuentra en hacerlo en gran escala, como es el desafío que plantean las miles de hectáreas cultivadas con quinua. PROINPA está trabajando en la evaluación de diferentes especies locales (pastos, arbustos y leguminosas) que tienen una adaptación igual o mejor que la quinua al agroecosistema del altiplano sur. Entre ellas, destacan las leguminosas silvestres (*Lupinus* spp) que se convierten en excelente opción para ser utilizadas como abonos verdes y pueden aportar cerca de ocho toneladas de materia seca por hectárea. Sin embargo, existen varios temas pendientes en los que se está trabajando, como el romper la dormancia de las semillas, producir semillas en cantidades considerables, contar con tecnologías para la incorporación como abono verde y usar microorganismos eficientes para acelerar la descomposición.

Para proteger los suelos como cobertura vegetal

destaca la thola, nombre genérico que integra unas cinco especies nativas de la zona, de estas se han priorizado la Supu thola (*Parastrephia lepidophylla*), Uma thola (*P. lucida*) y Ñaka thola (*Baccharis tola*), por la formación abundante de semilla y no presentar dormancia en la semilla. El manejo de estas especies, empleando sistemas semi-mecanizados o mecanizados, puede contribuir al repoblamiento vegetal y así proteger el suelo de la erosión, proporcionar materia orgánica, ofrecer alimento y albergue a enemigos naturales de plagas de quinua; en general, funciones ambientales que son críticas para el altiplano sur y central.

Otro importante aporte de PROINPA es la generación de nuevas variedades, con mejores rendimientos, resistencia a la enfermedad del mildiu y tolerancia a sequía y heladas. En los últimos años se está dando énfasis a variedades para el uso industrial, en función al tipo de almidón y a la relación amilosa y amilopectina; por ejemplo, para la elaboración de flanes, budines y cremas instantáneas, se requieren variedades de quinua con mayor amilopectina, mientras que las variedades con mayor amilosa se orientan mejor para la elaboración de extrusados y fideos. Por otro lado, el diámetro de gránulo de almidón de las variedades juega un rol importante para la elaboración de pipocas o pops, etc. Las nuevas variedades van acompañadas con producción de semilla de alta calidad, en términos de sanidad, pureza varietal y tamaño de grano.

El gobierno boliviano planifica importantes inversiones en la promoción de la producción, procesamiento, exportación y consumo interno de quinua, para llegar al 2025 con un millón de hectáreas producidas anualmente. Siendo conservadores y estimando llegar solo a 300 mil ha. y tomando también valores conservadores de precio, el ingreso por la quinua para Bolivia podría significar unos 500 millones de dólares, constituyéndose en el primer rubro de exportación agrícola boliviano.

### Conclusión

En el momento actual la quinua ofrece una oportunidad única para Bolivia, genera ingresos mayores a los 100 millones de dólares, alrededor de 20.000 familias han salido de la pobreza y se ha generado una importante industria que cumple los requisitos internacionales. El gobierno boliviano

está en proceso de implementar varias políticas de fomento a la producción, exportación y consumo nacional, con la perspectiva de llegar a triplicar o más la producción actual. Sin embargo, para hacer efectiva esta visión de largo plazo, se deben realizar inmediatas inversiones en varios campos, como el manejo del sistema de quinua que incluye la vegetación nativa de arbustos, pastos, leguminosas y la población de camélidos. La implementación de normas que logren procesos más eficientes, desde el campo de los agricultores, el manejo de suelos y plagas, el acopio y la comercialización, el procesado y la exportación, que aseguren mantener y crecer en los mercados del exterior. La solución armónica de los conflictos sociales generados alrededor del negocio de la quinua.

El Año Internacional de la Quinua 2013, ha generado gran expectativa sobre este cultivo, por su alto valor nutritivo, su capacidad de tolerar condiciones adversas y sus precios tan altos. Esta situación hace que países con mayores inversiones en tecnología ingresen a la producción y mercado de la quinua, compitiendo seriamente y poniendo en riesgo el liderazgo boliviano. Por ello, las políticas e inversiones en gran medida deben hacer énfasis en algunos aspectos como por ejemplo, la producción orgánica, que en Bolivia a diferencia de otros países puede llegar a miles de hectáreas, la producción libre de gluten, factible de lograr en grandes extensiones ya que en el altiplano sur y central no prosperan los cereales que eventualmente contaminan a la quinua como en otros países, así como promover internacionalmente la Quinua Real por sus características de grano grande y su denominación de origen por su crecimiento único en el altiplano sur, etc. Estas medidas deben ser una línea para mantener y consolidar el papel actual que juega Bolivia en el comercio mundial de la quinua.

Por otro lado, la quinua se cultiva en Bolivia a menor escala en zonas de valle y puna, sin embargo, gracias a la gran diversidad genética que cuenta el país es factible desarrollar variedades más productivas para cada zona, así como tecnología que mejore la producción y productividad. En estas zonas no necesariamente se debe pretender obtener una quinua orgánica, más bien, se debe orientar a que sea ambientalmente sostenible, técnicamente factible y económica y socialmente viable. Estas zonas son estratégicas para incrementar los

volúmenes de exportación de quinua boliviana y lo más importante, promover el consumo local y fortalecer el consumo nacional.

El pasar del boom de la quinua a una situación estable se convierte en un gran desafío para todos los actores involucrados en el quehacer de la quinua, colectivamente se debe desarrollar una conciencia y visión de sostenibilidad y prosperidad de largo plazo.

## Referencias

- Andersen, L. y Mamani, R. (2009). Cambio Climático en Bolivia hasta 2100: Síntesis de Costos y Oportunidades. Estudio Regional de Economía del Cambio Climático en Sudamérica, CEPAL-BID. La Paz, Bolivia. 41 p.
- Arana, I., García M., Aparicio M. y Cabrera, M. (2007). Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Ministerio de Planificación del Desarrollo. La paz, Bolivia. 77 p.
- Aroni, J.C. (1995). Cosecha y manejo de poscosecha en el cultivo de quinua. En: Memorias del Primer Seminario Taller sobre Oferta Tecnológica en el cultivo de quinua. Uyuni, Potosí. 18 al 22 de febrero. IBTA – PROQUIPO.
- Barrientos, E., W. Choque y M. Gonzales. (2013). Centro de Investigación Nacional de la Quinua (CNQ) en la Región del Intersalar de Bolivia, Salinas de Garci Mendoza. Universidad Técnica de Oruro. CIER – DICyT, FCAyV. Oruro, Bolivia. 24 p.
- Bazile D. (2013). Desarrollo territorial: la quinua, un catalizador de innovaciones. Montpellier : CIRAD, 4 p. (Perspective : Cirad, 20). Disponible en: [http://www.cirad.fr/content/download/7608/80510/version/2/file/Perspective20\\_Bazile\\_ES.pdf](http://www.cirad.fr/content/download/7608/80510/version/2/file/Perspective20_Bazile_ES.pdf)
- Bonifacio, A., G. Aroni y M. Villca. (2012). Catálogo Etnobotánico de la Quinua Real. Cochabamba, Bolivia. 123 p.
- Bonifacio, A., A. Mujica, A. Alvarez y W. Roca. (2004). Mejoramiento genético, germoplasma y producción de semilla. In: A. Mujica, S. Jacobsen, J. Izquierdo y JP. Marathee (eds). Quinua: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile. pp 125-187.
- Bonifacio, A. Rojas, W. Saravia, R. Aroni, G. Gandarillas, A. (2006). PROINPA consolida un

programa de mejoramiento genético y difusión de semilla de quinua. Fundación PROINPA. Informe Compendio 2005 – 2006. Cochabamba – Bolivia.

Bonifacio, A., G. Aroni y A. Gandarillas. (2013). El compromiso de PROINPA con un sistema sostenible de quinua en el altiplano boliviano. Instituto Boliviano de Comercio Exterior IBCE. La Quinoa Boliviana traspasa fronteras para el consumo mundial. Santa Cruz Bolivia Año 21 No 210.

Bruno, M. (2005). ¿Domesticado o silvestre? Resultados de la investigación de semillas de *Chenopodium*. Chiripa, Bolivia (1500–100 A.C.). Carreras de Antropología y Arqueología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. Textos Antropológicos, 2005, Volumen 15, Número 2, pp. 39-50. Disponible en [https://www.academia.edu/1909103/Domesticado\\_o\\_Silvestre\\_Resultados\\_de\\_la\\_Investigacion\\_de\\_Semillas\\_de\\_Chenopodium\\_Chiripa\\_Bolivia\\_1500-100\\_A.C.](https://www.academia.edu/1909103/Domesticado_o_Silvestre_Resultados_de_la_Investigacion_de_Semillas_de_Chenopodium_Chiripa_Bolivia_1500-100_A.C.)

Cossio, J. (1995). Preparación del terreno para el cultivo de quinua. En: Memorias del Primer Seminario Taller sobre Oferta Tecnológica en el cultivo de quinua. Uyuni, Potosí. 18 al 22 de febrero. IBTA – PROQUIPO.

De Jarvis, O.R. Kop, E.N. Jellen, M.A. Mallory, J. Pattee, A. Bonifacio, C.E. Coleman, M.R. Stevens, D.J. Fairbanks, P.J. Maughn. (2008). Simple sequence repeat marker development and genetic mapping in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Genetics. 87: 39-51.

Espindola, G. y A. Bonifacio. (1996). Catálogo de variedades mejoradas de quinua y recomendaciones para producción y uso de semilla certificada. Publicación conjunta IBTA/DNS: Boletín N° 2. La Paz, Bolivia. 76 p.

FAO (2001). Mujica, A.; Jacobsen, S.E.; Izquierdo, J.; y Marathee, J. P. (Editores). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.); Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. FAO. Santiago de Chile. 2001.

Figuerola, I. Crespo, L. Saravia, R. Quispe, R. Lino, V. y Ríos, B. (2013). Eco-insecticida con alta eficiencia a partir del “picante del locoto (*Capsicum* sp). Fundación PROINPA. Cochabamba – Bolivia. (en imprenta).

Fundación Fautapo–Compasur. (2013). Experiencias y Logros en Desarrollo Social y Tecnológico del

Programa Complejo Quinoa Altiplano Sur de Bolivia. Fundación Fautapo. Bolivia

Gandarillas, H. (1968). Razas de quinua. Bolivia, Ministerio de Agricultura. División de Investigaciones Agrícolas. Boletín Experimental N° 4, 53 p.

Gandarillas, H. (1979a). Genética y origen. In: M. Tapia (ed). Quinoa y Kañiwa, cultivos andinos. Bogotá, Colombia, CIID, Oficina Regional para América Latina. pp 45-64.

Gandarillas, H. (1979b). Botánica. In: M. Tapia (ed). Quinoa y Kañiwa, cultivos andinos. Bogotá, Colombia, CIID, Oficina Regional para América Latina. pp 20-44.

Gandarillas, H. (1982). El Cultivo de la Quinoa. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria. La Paz, Bolivia.

Gandarillas, H. (1984). Obtención experimental de *Chenopodium quinoa* Willd. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, La Paz, Bolivia. 21 p.

Gandarillas, H. (2001). Historia de la Investigación para el Desarrollo Agropecuario en Bolivia. Memorias de un Investigador. Editora J.V. Cochabamba, Bolivia.

García, M, Edwin Yucra y Katherine Rojas (2013). Técnicas de downscaling estadístico para evaluar el impacto del cambio climático en zonas productoras de quinua. Congreso Científico de la Quinoa. Memoria 14-15 julio del 2013- La Paz – Bolivia

Jacobsen, S. E., (2011): The situation for quinoa and its production in southern Bolivia: from economic success to environmental disaster. J. Agron. Crop Sci. 197, 390–399.

Jellen EN, Sederberg MC, Kolano BA, Bonifacio A, Maughan PJ. (2011). *Chenopodium*. In: C Kole (ed) Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources. Legume Crops and Forages. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. pp. 35-61

Ibáñez, P.L. y G. Mérida. (2003). Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación. Santa Cruz, Bolivia. Ed. FAN.

Lieberman, M. (1992). Ecosistemas de Bolivia. El agroecosistema andino: Problemas, limitaciones, perspectivas. CIP, Lima, Perú. Anales del Taller Internacional sobre el Agroecosistema Andino,



Lima, Marzo abril 2, 1992, p. 109-118

Lescano, J.L. (1994). Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos: quinua, kañihua, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco, mashua y oca. Programa Interinstitucional de Waru Waru, Convenio INADE/PELT - COTESU. Puno, Perú. 459 p.

Martínez, S., V. De Souza y J. Miranda. (2013). Introducción y validación de siete variedades de quinua en las zonas altas del departamento de Tarija. En: Vargas, M. (Editor. 2013). Congreso Científico de la Quinua (Memorias). La Paz, Bolivia.

Maughan PJ, Smith SM, Rojas-Beltrán JA, Elzinga D, Raney JA, Jellen EN, Bonifacio A, Udall JA, Fairbanks DJ . (2012). Single nucleotide polymorphisms identification, characterization and linkage mapping in *Chenopodium quinoa*. *Plant Genome* 5(3) 1-7.

Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras y Consejo Nacional de Comercializadores y Productores de Quinua (Conacoproq). (2009). Política Nacional de la Quinua. La Paz- Bolivia

Mujica, A. (1992). Granos y leguminosas andinas. In: J. Hernández, J. Bermejo y J. León (eds). Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Roma. pp 129-146.

Ortuño, N., Castillo, J. Claros, M. Navia, O. Angulo, M. Barja, D. Gutierrez, C. y Angulo, V. (2013) Enhancing the Sustainability of Quinoa Production and Soil Resilience by Using Bioproducts Made with Native Microorganisms. *Agronomy* 2013, 3, 732-746; doi: 10.3390/agronomy 3040732

Orsag, V. (2011). Evaluación de la fertilidad de los suelos en la zona intersalar. Producción sostenible de quinua. Embajada Real de Dinamarca. Fundación PIEB.

Rojas, W. (1995). Manejo de los recursos genéticos y técnicas de producción de semilla de quinua de calidad. En: Memorias del Primer Seminario Taller sobre Oferta Tecnológica en el cultivo de quinua. Uyuni, Potosí. 18 al 22 de febrero. IBTA – PROQUIPO.

Rojas, W. y T. Ordoñez. (1998). Situación actual y perspectivas de la investigación de la quinua en Bolivia. Trabajo presentado en el Seminario Taller de Quinua. Oruro, 26 de Noviembre de 1998. 15p.

Rojas, W., M. Cayoja y G. Espindola. (2001). Catálogo de colección de quinua conservada en el

Banco Nacional de Granos Altoandinos. Fundación PROINPA, MAGDER, PPD-PNUD, SIBTA-UCEPSA, IPGRI, IFAD. La Paz, Bolivia. 129 p.

Rojas, W., M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (editores). (2010a). Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International, Roma, Italia. 178 p.

Rojas, W., M. Pinto, A. Bonifacio y A. Gandarillas. (2010b). Banco de Germoplasma de Granos Andinos. En: W. Rojas, M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds.). Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International, Roma, Italia. pp 24-38.

Saavedra A. y García. M. s.a. Impacto del cambio climático y su posible efecto sobre el cultivo de quinua en el altiplano boliviano. Proyecto Quinagua, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, 8 p. Disponible en [http://www.infoquinua.bo/fileponencias/p\\_SAAVEDRA%20Claudia%20Impacto%20climatico\(Pro\).pdf](http://www.infoquinua.bo/fileponencias/p_SAAVEDRA%20Claudia%20Impacto%20climatico(Pro).pdf)

Sanchez, L. (1995). Manejo integrado de plagas de la quinua. En: Memorias del Primer Seminario Taller sobre Oferta Tecnológica en el cultivo de quinua. Uyuni, Potosí. 18 al 22 de febrero. IBTA – PROQUIPO.

Saravia, R., Figueroa, I. Quispe, R. Crespo, L. Lino, V. y Ríos, B. (2013). Feromonas sexuales, alternativas de control de plagas eficiente y limpia para la producción orgánica. Fundación PROINPA. Cochabamba – Bolivia. (en imprenta).

Saravia, R. Bonifacio, A. y G. Aduviri. (2011). La identificación de los enemigos de la quinua, una tarea esencial para el MIP. Fundación PROINPA. Informe Compendio 2007-2010. Cochabamba – Bolivia.

Tapia, M. (1990). Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA – FAO, Oficina para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile.

Thibeault, J.M., A. Seth y M. Garcia. (2010). Changing climate in the Bolivian Altiplano: CMIP3 projections for precipitation and temperature extremes, F.

Geophys. Res., doi: 10.1029/2009JD012718

Valdivia, C. Anji Seth, Jiménez, E y Cusicanqui, J. (2013). Cambio climático y adaptación en el Altiplano de Bolivia. Coordinadora: Elizabeth Jiménez Zamora. SANREM CRSP. CIDES UMSA. Bolivia

Vargas, A., A. Bonifacio y W. Rojas. (2013). Mejoramiento para la calidad industrial de la quinua. Memorias Congreso Científico de la Quinua. Editor M. Vargas. La Paz Bolivia

Vásquez, V.H. (2013). La Quinua en el Mundo. En: La Quinua Boliviana Traspasa Fronteras para el Consumo Mundial. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras – MDRyT. Publicación del Instituto Boliviano de Comercio Exterior – IBCE, Año 21, N° 210, Marzo 2913. Santa Cruz, Bolivia.

Vieira Pak M. (2012). Le boom de la quinoa dans l'Altiplano Sud de la Bolivie : transformations agraires, discours et conflits socio-environnementaux, AgroParisTech. *Thèse : ABIES / Direction/Encadrement* J.F. Tourrand.

Winkel T., Bertero H.D., Bommel P., Bourliaud J., Chevarria-Lazo M., Cortes G., Gasselin P., Geerts S., Joffre R., Léger F., Martinez Avisa B., Rambal S., Rivière G., Tichit M., Tourrand J.-F., Vassas Toral A., Vacher J.J., Vieira Pak M. (2012). The sustainability of quinoa production in southern Bolivia: from misrepresentations to questionable solutions. Comments on Jacobsen (2011, J. Agron. Crop Sci. 197: 390-399). *Journal of agronomy and crop science* 198 (4): 314-319. doi: 10.1111/j.1439-037X.2012.00506.x <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00506.x>.

## CAPÍTULO: 5.1.b

## TÍTULO: ALTIPLANO SUR DE BOLIVIA

\*Autor para correspondencia: Thierry WINKEL <[thierry.winkel@ird.fr](mailto:thierry.winkel@ird.fr)>

**Autores:**

WINKEL T.<sup>a</sup>; ÁLVAREZ-FLORES R.<sup>b</sup>; BOMMEL P.<sup>c</sup>; BOURLIAUD J.<sup>d</sup>; CHEVARRÍA LAZO M.<sup>e</sup>; CORTES G.<sup>f</sup>; CRUZ P.<sup>g</sup>; DEL CASTILLO C.<sup>h</sup>; GASSELIN P.<sup>i</sup>; JOFFRE R.<sup>j</sup>; LÉGER F.<sup>k</sup>; NINA LAURA J.P.<sup>l</sup>; RAMBAL S.<sup>j</sup>; RIVIÈRE G.<sup>m</sup>; TICHIT M.<sup>j</sup>; TOURRAND

J.F.<sup>c</sup>; VASSAS TORAL A.<sup>n</sup>; VIEIRA PAK M.<sup>c</sup>.

<sup>a</sup>IRD, UMR 5175 CEFE, Montpellier, Francia

<sup>b</sup>CNRS, UMR 5175 CEFE, Montpellier, Francia

<sup>c</sup>CIRAD, UR GREEN, Montpellier, Francia

<sup>d</sup>INRA, UR MONA, Ivry-sur-Seine, Francia

<sup>e</sup>Consultor ONU (UNOPS - PNUMA), Perú

<sup>f</sup>Université Paul Valéry, UMR 5281 ART-Dev, Montpellier, Francia

<sup>g</sup>CONICET-FUNDANDES, Jujuy, Argentina

<sup>h</sup>UMSA, Facultad de Agronomía, La Paz, Bolivia

<sup>i</sup>INRA, UMR INNOVATION, Montpellier, Francia

<sup>j</sup>CNRS, UMR 5175 CEFE, Montpellier, Francia

<sup>k</sup>INRA, UMR SAD-APT, Paris, Francia

<sup>l</sup>Agrónomos y Veterinarios Sin Fronteras, La Paz, Bolivia

<sup>m</sup>EHESS, UMR 8168 MASCIPO, Paris, Francia

<sup>n</sup>Université Paul Valéry, UMR 5281 ART-Dev, Montpellier, Francia

**Resumen:**

Alimento de base de las poblaciones andinas desde hace milenios, la quinua se ha convertido hoy en un producto apreciado en el mercado internacional de alimentos dietéticos, orgánicos y equitativos. Este cambio lo iniciaron los mismos productores del Altiplano Sur de Bolivia hace aproximadamente unos 40 años. En medio de un desierto de altura, ellos lograron desarrollar una floreciente producción agrícola de exportación. Aunque cuentan con lucrativos nichos de mercado, los productores de quinua no son agricultores especializados, ni residen de forma permanente en la zona de producción. Estas son algunas de las paradojas que caracterizan la producción de quinua en el Altiplano Sur de Bolivia. Después de describir el origen, la diversidad y los rasgos biológicos del ecotipo Quinua Real en el cual se basa la producción de esta zona, se plantea la importancia de la quinua en los agrosistemas locales y, más allá, en los sistemas de actividades agrícolas y no agrícolas manejados por las familias del Altiplano Sur. Movilidad geográfica y pluriactividad forman parte del modo de vida ancestral de estas poblaciones

y determinan hasta hoy en día las condiciones de uso de los recursos territoriales y la organización de los productores en el contexto del auge comercial de la quinua. La producción actual de quinua en la región presenta rasgos de vulnerabilidad agroecológica y social, así como capacidades adaptativas para enfrentarlos. Se resaltan como puntos clave para la sostenibilidad de los agrosistemas locales: i) la concertación de reglas comunales e individuales para el acceso y uso de la tierra en agrosistemas socialmente equitativos y equilibrados entre cultivo y ganadería, ii) las normas internacionales para el reconocimiento de la Quinua Real en los mercados de exportación, iii) una actualización continua de las reglas y normas para mantener la adaptabilidad de los agrosistemas locales a los cambios imprevisibles del contexto socio-ecológico a varias escalas de espacio y de tiempo.

Palabras-clave: adaptabilidad social, agricultura familiar, Bolivia, ecotipo, normas territoriales, pluriactividad, Quinua Real, sistema socio-ecológico, sostenibilidad agrícola

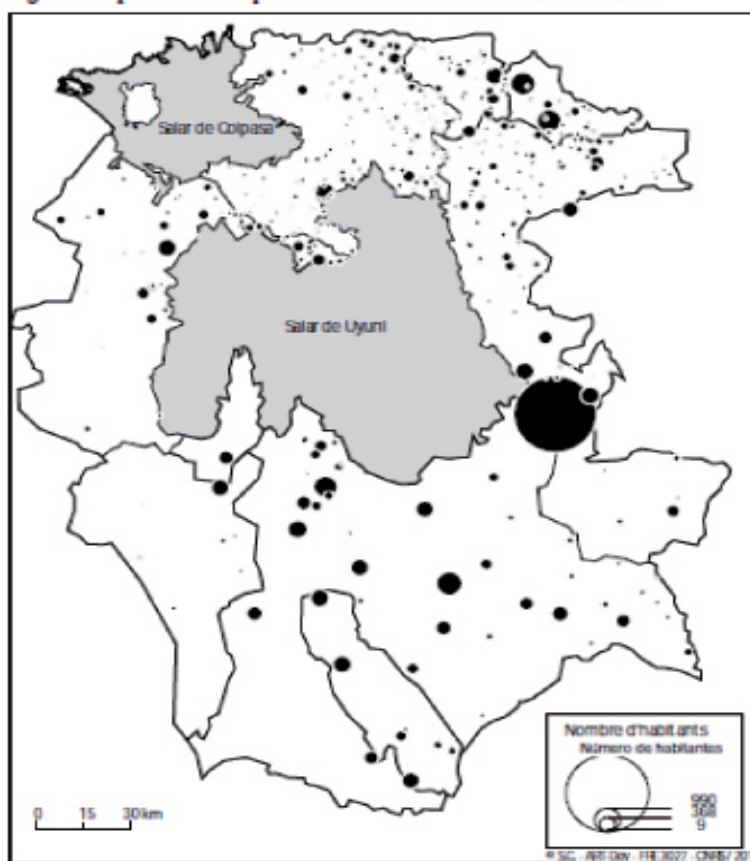
## Contexto y problemática de la quinua en el Altiplano Sur de Bolivia.

### *Un liderazgo mundial fruto de 40 años de esfuerzos.*

El Altiplano Sur de Bolivia domina el comercio internacional de la quinua, llegando a producir, según los años, hasta el 90% de los volúmenes exportados a través del mundo (Aroni *et al.* 2009, Rojas 2011). Empezando en la década de 1970 en la región de los Lípez, en la orilla sur del salar de Uyuni, la producción de quinua para la exportación se extendió rápidamente durante la siguiente década hacia el oeste y el norte de este salar, región conocida como el Intersalar (Figura 1). Esta producción a gran escala se desarrolló inicialmente en respuesta a la demanda comercial del vecino país de Perú, más poblado que Bolivia y donde los ciudadanos consumían la quinua en cantidad, contrariamente de lo que se veía en Bolivia por entonces. La donación de tractores por una ONG belga que intervenía en algunas comunidades de la zona impulsó esta fase inicial de

la producción (Laguna 2011). De esta manera, los productores del Altiplano Sur estuvieron listos para responder oportunamente, en los años ochentas, a una nueva demanda comercial de alimentos vegetarianos, sin gluten y ricos en proteínas, proveniente de América del Norte y Europa. Poco tiempo después, se abrieron los mercados de comercio justo y de productos orgánicos sostenidos principalmente por la demanda europea. Estos nuevos mercados de exportación con destino al hemisferio norte no suplantaron al mercado peruano, el cual, hasta muy recientemente, representaba más de la mitad de las exportaciones de quinua de Bolivia, aunque esencialmente bajo las condiciones del comercio informal (Aroni *et al.* 2009). Hoy en día, los productores locales de quinua aprovechan una diversidad de mercados, en los cuales ofrecen tanto quinua convencional como quinua certificada “orgánica” y de “comercio justo”, destinadas tanto al mercado interno como al comercio informal del Perú, o bajo certificación hacia países del hemisferio norte.

Figura 2. Repartición de la población en las comunidades del Perisalar



Fuente: compilación de datos INE, 2001. Realización S. Corsièvre, 2010.

Figura 1: Mapa de los municipios y las comunidades del Altiplano Sur de Bolivia.



### *Cuatro paradojas de la producción de quinua en el Altiplano Sur.*

La creciente demanda internacional de la quinua brinda a los productores y a sus organizaciones una posición privilegiada para negociar con los importadores, generalmente extranjeros. Sin embargo y a pesar de sus éxitos en los mercados de exportación, los productores locales no han elegido especializarse de manera definitiva en la producción de quinua. Por el contrario, la mayoría de ellos mantienen simultáneamente actividades no agrícolas, las cuales a menudo les conllevan a realizar migraciones temporales (Vassas Toral 2011). Cultivar para la exportación sin necesidad de residir de manera permanente en el área rural es una de las paradojas que se aprecia en la producción de la quinua en el Altiplano Sur de Bolivia (Winkel 2011).

Si se considera el medio ambiente de la región, donde el suelo rocoso o arenoso queda expuesto de forma casi permanente a la sequía y a las heladas, a las ocurrencias del fenómeno del Niño, al viento violento y a la intensa radiación solar debida a la gran altitud, resulta sorprendente que en condiciones tan drásticas se haya logrado desarrollar una producción agrícola de exportación tan floreciente. Por lo que sabemos, la quinua es en el mundo, un caso único de cultivo de exportación producido prácticamente sin insumos en un ambiente extremo de montañas de altura, frías y áridas. Las zonas de cultivo, escalonadas entre 3650 y 4200 m de altura, reciben una precipitación anual que va desde los 150 mm en el sur de la región hasta 300 mm en el noreste, con más de 200 días de helada por año (Geerts *et al.* 2006). A pesar de su alta tolerancia a la sequía, la quinua no puede cumplir su ciclo de vegetación con sólo las lluvias recibidas durante un año promedio. De hecho, un sistema de descanso bienal se aplica para almacenar en el suelo la precipitación necesaria para realizar un ciclo anual de cultivo de la quinua (Michel 2008).

Otra paradoja de la producción de quinua en esta región es que, si bien se trata de un alimento sano y producido por pequeños productores algunos de ellos con certificación orgánica y de comercio justo, su cultivo podría poner en riesgo las bases ecológicas y sociales del agrosistema (Michel 2008, Vieira Pak 2012). Esta situación estaría en contradicción con los beneficios esperados de una agricultura familiar

que utiliza bajos niveles de insumos y que reivindica raíces y saberes ancestrales. Las preocupaciones en torno a la sostenibilidad de la producción de quinua fueron inicialmente expresadas, a menudo de manera simplista y alarmista, por periodistas, empresarios e investigadores quienes denunciaron una acelerada erosión de los suelos, así como la visión a corto plazo y el afán de lucro de algunos productores y operadores locales. Conscientes de la creciente vulnerabilidad ambiental y social de su agroecosistema, los agricultores y responsables bolivianos, con el apoyo de instituciones nacionales e internacionales, empezaron a tomar iniciativas para resolver las dificultades que se presentaban.

Esto llevó la producción de quinua a otra paradoja, de índole más socioeconómica. Mientras que durante tres décadas el auge de la quinua se debió esencialmente a iniciativas sectoriales e individuales desarrolladas en un contexto de “vacío organizacional” (Félix & Vilca 2009), desde hace diez años se buscan regulaciones colectivas a nivel local, nacional e internacional, implicando a las autoridades comunitarias, a las asociaciones de productores, a las ONGs y las agencias de desarrollo rural, a los gobiernos regionales y central, y a las cadenas alimentarias internacionales. Cuando a través del mundo abundan los casos de poblaciones rurales excluidas del acceso a sus propios recursos territoriales, el Altiplano Sur de Bolivia muestra el ejemplo de poblaciones rurales que controlan no sólo el acceso a los recursos locales de tierras y de semillas, sino también gran parte de los mercados de exportación, aprovechando de manera oportuna la creciente demanda mundial de cereales y resistiéndose a las presiones regulatorias que se intentan imponer desde el exterior.

Este breve diagnóstico de la producción de quinua en el Altiplano Sur de Bolivia debe plantearse considerando la dinámica del mercado de exportación. El auge de la quinua, iniciado a fines de los años setentas, no muestra hasta ahora señales de disminución: entre 2000 y 2010, el valor de las exportaciones se multiplicó por 40, llegando a más de 45 millones de USD y, en el mismo período, el precio al productor subió de 1200 a más de 3000 USD por tonelada de quinua de calidad convencional (Rojas 2011). Esta excepcional dinámica productiva y comercial cuestiona las bases ecológicas, sociales y económicas de la sostenibilidad del agrosistema

y presenta todas las características de una auténtica revolución agrícola (Mazoyer & Roudart 2006, 2009). Después de un período en el que la improvisación individual marcaba la regla, ahora emergen numerosas iniciativas para renovar las prácticas colectivas de gestión de los recursos locales.

### **Diversidad, origen y uso de los recursos genéticos.**

#### *Decenas de variedades locales. ¿Un mismo ecotipo?*

El Altiplano Sur de Bolivia es por excelencia la tierra de la Quinua Real. Al contrario de lo que suele mencionarse, la Quinua Real no es una variedad de quinua. Bajo la denominación genérica de Quinua Real se agrupan cerca de cincuenta variedades locales, cada una identificada por su nombre vernáculo y su fenotipo (Bonifacio *et al.* 2012). Estas variedades locales se diferencian por la forma de sus panojas: amarantiformes, glomeriformes o intermedias. También presentan colores muy diversos – a veces mixtos – de hojas, panojas y granos: desde el verde hasta el amarillo y el púrpura para las hojas, y del blanco al negro pasando por el rosado, rojo, anaranjado, amarillo, violeta, café para las panojas y los granos enteros. En los granos, sin embargo, esta pigmentación generalmente no es estable: una vez lavados y desaponizados, los granos de la mayoría de las variedades de Quinua Real toman un color blanco o crema, y sólo algunas pocas conservan granos de color rojo oscuro, marrón o negro. Ambos tipos de granos – blancos u oscuros – tienen hoy en día una demanda comercial y los granos colorados, más raros, se benefician de un precio mucho más alto en el mercado (4500 USD/tonelada vs. 2600 USD/tonelada para la quinua de granos blancos, valores en mayo 2013, fuente: InfoQuinua.bo). Resulta errónea entonces la afirmación que la expansión reciente del cultivo de la Quinua Real se hizo en desmedro de la diversidad de la quinua que se cultivaba en la región antes del auge de la producción de exportación.

Otra idea común, pero hasta el momento sin fundamento alguno, es que las variedades locales de Quinua Real serían ecotipos distintos, cada uno adaptado a un micro-hábitat particular. Si se define el ecotipo como un genotipo dentro de una especie que se diferencia por rasgos atribuibles a la acción selectiva de factores medioambientales locales (Zeven 1998, Soraide Lozano 2011, Bonifacio *et*

*al.* 2012), ninguna evidencia permite actualmente aseverar que las distintas variedades de Quinua Real se diferencian entre ellas por este criterio ecológico. De hecho, en el período reciente de expansión de los cultivos, se puede observar que las mismas variedades ocupan laderas y planicies independientemente del microclima, de la topografía o del tipo de suelo en estos diversos hábitat. Esta capacidad que tiene cada variedad de Quinua Real de crecer en ambientes ecológicamente diversos dentro de la zona aparece en realidad como un rasgo adaptativo esencial en un entorno montañoso muy imprevisible donde una especialización acotada con respecto a un hábitat determinado o un microclima específico sería extremadamente arriesgada y contra-productiva. Tan amplia capacidad adaptativa ha sido llamada “versatilidad ecológica” por Zimmerer (1998) quien, en el caso de la papa en los Andes del Perú, demostró su interés para la preservación de la agrobiodiversidad y la producción sostenible en agrosistemas usando pocos insumos artificiales. Esta versatilidad ecológica no significa que la noción de ecotipo no sea relevante para la quinua sino más bien que el ecotipo se define en una escala más amplia que la de la variedad local y del micro-hábitat. Es así que el conjunto de las variedades locales de Quinua Real, muy productivas en el sur del altiplano boliviano, se muestran vulnerables al mildiú cuando se intenta cultivarlas en la región del lago Titicaca donde el aire es más húmedo y templado que en su región de origen (Danielsen *et al.* 2003). En cambio, las variedades del altiplano norte aguantarían difícilmente el frío y la sequía de la zona del salar de Uyuni. Estudios más detallados y repetidos son necesarios para explorar las áreas óptimas de cultivo de las numerosas variedades locales de quinua. En particular, hacen falta estudios ecofisiológicos sobre la adaptación de las variedades a diferentes tipos de suelos la cual podría constituir un factor de diferenciación ecológica dentro de la gran zona agroclimática correspondiente al Altiplano Sur. En este último aspecto, estudios recientes demuestran capacidades muy distintas de exploración y explotación del suelo entre plantas de Quinua Real y del ecotipo “litoral” de Chile (Álvarez-Flores 2012, Álvarez-Flores *et al.* 2014, Zurita *et al.* este volumen). Pero sin datos adicionales más precisos, se debe considerar que los ecotipos de quinua corresponden a las grandes regiones

agroclimáticas de su área de distribución: altiplano central, altiplano árido, valles secos, valles húmedos y litoral. Esta amplia diferenciación ecotípica – o sea, sin especialización respecto a un micro-hábitat – coincide con los principales tipos genéticos de quinua identificados en los trabajos precursores de Wilson (1988) y en gran parte corroborados para el caso de Bolivia por Rojas (2003), Bertero *et al.* (2004) y Del Castillo *et al.* (2006). En este sentido, las variedades de Quinua Real se identifican en su conjunto con el ecotipo “altiplano árido” de la quinua.

*Recursos genéticos antiguos y hasta hoy no alterados.*

Respecto al origen de la quinua en el Altiplano Sur de Bolivia, el estudio comparativo con base a marcadores moleculares del genoma de granos de quinua antiguos encontrados en sitios arqueológicos y de granos modernos recolectados en la región, revela una similitud casi perfecta de los genotipos durante un período de más de 650 años (Grasset 2011, Programa ECOS-Sud Arqueoquinoas, datos no publicados). Esta similitud señala, sin duda alguna, un origen preinkaico de las variedades locales cultivadas hasta hoy en día en la región del salar de Uyuni. Demuestra también la ausencia de erosión genética del germoplasma de la quinua a pesar de todos los cambios sociales y ambientales ocurridos en la región durante el vasto período que va desde la época preinkaica, las sucesivas conquistas inka y española, la pequeña edad glacial, los períodos colonial y republicano, hasta la actual expansión del cultivo de exportación.

La ausencia de un impacto notable en la diversidad genética de la quinua en el reciente período de auge, también señalada por Del Castillo *et al.* (2007), se explica al menos por dos razones. Primero, la permanencia del uso local de una diversidad de quinuas para una diversidad de preparaciones alimentarias (ver más abajo la sección sobre los usos alimenticios en la zona) y también para usos medicinales y rituales. Segundo, la identificación del producto comercial, la Quinua Real, con un conjunto diversificado en el cual todas las variedades cultivadas tradicionalmente han encontrado un mercado: quinua de granos blancos, quinua de granos oscuros, quinua para granos inflados (*pipocas*). Con la mayor parte de

los volúmenes comercializados, la quinua de granos blancos es también la que se obtiene con el número más grande de variedades locales: 44 según el catálogo publicado por Bonifacio *et al.* (2012). La quinua de granos oscuros y aquella usada para *pipocas* son productos comerciales marginales pero que permiten mantener variedades muy especiales dentro del grupo de la Quinua Real: se trata de siete variedades de granos oscuros entre las cuales dos variedades – *phisanqalla amarantiforme* y *phisanqalla hembra* – son aptas para la preparación de *pipocas*.

Esta diversidad de recursos genéticos satisface tanto a los productores como a los compradores y consumidores de Quinua Real y, a pesar de los esfuerzos de los laboratorios de investigación y de las instituciones públicas, las variedades mejoradas y las semillas certificadas no suscitan mucho interés por parte de los productores (Baudoin-Farah 2009). Cuando no se persiguen objetivos contraproduktivos – como fue el de eliminar el amargor en los granos de ciertas variedades que, al final de cuentas, resulta una protección eficaz contra los pájaros y otras plagas animales –, las investigaciones de mejoramiento genético a veces tropiezan con verdaderos bloqueos biológicos como sucede en el caso de la resistencia al mildiú que, hasta ahora, se encuentra asociada a caracteres agronómicos, como un tamaño de granos pequeño y un ciclo vegetativo largo, no apropiados para un cultivo comercial (Gamarra *et al.* 2001). En el manejo de los recursos genéticos de la Quinua Real, la vía parece estrecha entre el mejoramiento genético y la selección participativa, la uniformización de las semillas y la preservación de la agrobiodiversidad, los intereses privados y el patrimonio colectivo.

*Desde la certificación de la producción hasta la denominación de origen.*

Más que en la certificación de semillas, los productores de quinua han encontrado un interés en la certificación de su producción de granos. Que sea orgánica o de comercio justo, la certificación de la Quinua Real es un proceso actualmente bien establecido, impulsado desde comienzos de los años noventa por la Asociación Nacional de Productores de Quinua (ANAPQUI) y con el apoyo de ONGs europeas (Laguna 2011). Según estimaciones recogidas en la región, hoy en día entre

el 25% y el 40% de la producción de Quinua Real es comercializada como “orgánica”. Las importaciones que hacen Europa y América del Norte son casi exclusivamente de este tipo de quinua (MDRyT & CONACOPROQ 2009, Aroni *et al.* 2009).

Respecto al uso de los recursos genéticos, y en la perspectiva de una competencia creciente en el mercado internacional, un documento de política general emitido por el gobierno boliviano señala como “tarea pendiente e indispensable el contar con la Denominación de Origen de la Quinua, para fines legales y comerciales” (MDRyT & CONACOPROQ 2009). En Bolivia, la denominación de origen “Quinua Real” está aprobada desde el 2002 por el Servicio Nacional de la Propiedad Intelectual (SENAPI) y se publicó en el 2011 un documento técnico para promover la diferenciación del producto y la protección de su origen geográfico y cultural (Soraide Lozano 2011). Paralelamente, productores de la zona de Lípez (al sur de la región del salar de Uyuni) iniciaron en 2009 un proceso de denominación de origen para su propia producción local (Laguna 2011, Ofstehage 2012). Sin embargo, en el ámbito internacional, la falta de coherencia entre las múltiples normas relativas a la gestión legal de los recursos fitogenéticos dificulta la implementación de la soberanía de los Estados y de los derechos de los agricultores sobre estos recursos (Chevarría-Lazo & Bourliaud 2011).

### **Importancia de la quinua en el agrosistema y los sistemas de actividades familiares.**

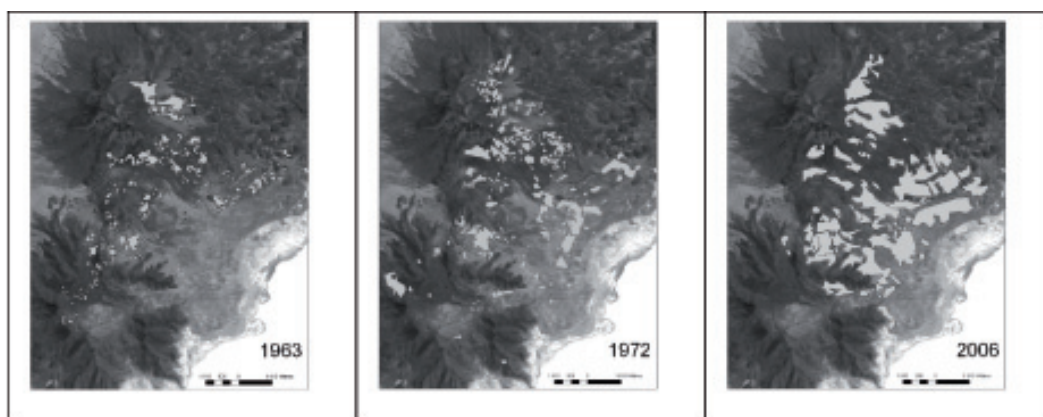
#### *Un paisaje agrícola en profunda transformación.*

Mientras que la mayoría de los cultivos que hacen la riqueza de la agricultura andina – tubérculos y granos andinos, habas, hortalizas, forrajes, etc. – se restringen a zonas con acceso suficiente de agua, en la mayor parte del Altiplano Sur, frío y árido, las opciones se limitan a la producción de papas (dulces y amargas) y quinua. Incluso con anterioridad al reciente auge de la producción de exportación y a pesar de las condiciones ambientales muy adversas, la producción de papas y quinua era generalmente suficiente no sólo para el autoconsumo de las familias, sino también para el abastecimiento de los mercados locales y en particular, de los campamentos mineros (Franqueville 2000, Laguna 2011).

Tradicionalmente las parcelas de cultivo se localizaban en las laderas, menos expuestas a las heladas nocturnas que las planicies, estas últimas principalmente destinadas al pastoreo de llamas y ovejas que son más resistentes al frío que los cultivos (Pouteau *et al.* 2011). En esta zona y hasta hoy en día, los pastizales son de propiedad y uso colectivo mientras que las parcelas de cultivo, si bien pertenecen a las comunidades, son de usufructo individual y se transmiten generalmente dentro de las mismas familias (Félix & Vilca 2009, Vieira Pak 2012). Con la emergencia de una demanda internacional para la quinua a partir de los años setentas, el cultivo se extendió hacia las planicies con el fin de aumentar los volúmenes de producción mediante el uso de tractores. Cabe notar que en esta región, tanto en las laderas como en las planicies, la quinua se cultiva en tierras de secano, sembrada en hoyos y no en surcos como en el resto del altiplano boliviano.

Considerando por un lado los subsidios al consumo de arroz y trigo otorgados desde los años sesentas por los programas internacionales de ayuda alimentaria (Franqueville 2000) y, por otro lado, la falta de mercado significativo para la producción ganadera, los productores locales decidieron limitar la producción de papas al autoconsumo familiar y convertir una parte creciente de las áreas pastoriles en cultivos de quinua. La figura 2 muestra la expansión del cultivo de quinua en una comunidad cerca del salar de Uyuni: entre 1963 y 2006, el área cultivada se incrementó en un 360%, expandiéndose principalmente hacia las planicies aunque las laderas continúan siendo cultivadas. Un estudio independiente realizado en tres municipios de la zona muestra que entre 1975 y 2010 el cultivo de quinua se incrementó entre un 70% y un 300% en los terrenos planos y sufrió un decrecimiento del 16% al 32% en laderas (Medrano Echalar *et al.* 2011). Esta expansión del cultivo desemboca en una uniformización del paisaje agrícola mostrando vastos monocultivos de quinua o parcelas en descanso mientras que la vegetación nativa (hierbas y arbustos que forman la *thola*) se encuentra cada vez más relegada a tierras marginales, rocosas o en laderas no mecanizables (Michel 2008).





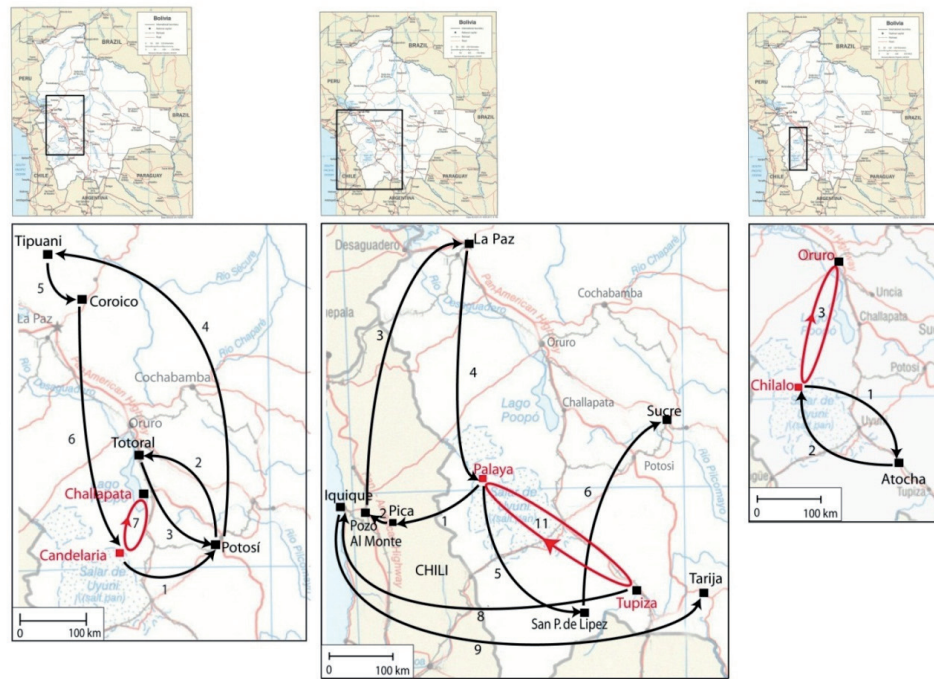
**Figura 2.** Expansión del área de los cultivos entre 1963 y 2006 en una comunidad del Altiplano Sur de Bolivia. Fuente: Jean-Rémi Duprat. CNRS – UMR 5175, Proyecto EQUICO, 2008.

#### *La quinua en el sistema familiar de actividades.*

Estos cambios en el agrosistema local surgieron en un contexto socio económico familiar en el que la agricultura y la ganadería forman parte de sistemas de actividades múltiples, agrícolas y no agrícolas. En una región árida y por largo tiempo marginal en la economía nacional, la pluriactividad y la migración temporaria forman parte de la estrategia que tienen las familias para ajustarse a los riesgos ambientales y económicos (Saignes 1995, Vassas Toral 2011). Aprovechando la proximidad de ecoregiones contrastadas como el litoral pacífico hacia el oeste y los valles interandinos y las llanuras tropicales hacia el este, los habitantes del Altiplano Sur desarrollaron desde hace siglos un modo de vida basado en los intercambios de recursos naturales entre estas distintas regiones (Platt 1995, Flores Ovando 2008). Lana, cuero y carne de llama, papas y quinua, así como sal y hierbas medicinales se intercambiaban con maíz, coca, leña, frutas, aceite, etc. provenientes de las regiones vecinas.

Hoy en día, los camiones reemplazaron a las antiguas caravanas de llamas, pero el mismo patrón de actividades agrícolas y no agrícolas se mantiene, sumando actividades comerciales o artesanales en las ciudades, empleos públicos, minería, turismo, entre otros (Figura 3) (Vassas Toral 2011, Winkel 2013). Lo nuevo en este panel de actividades es que, con la apertura de un mercado internacional para la quinua, una parte creciente y hasta

predominante de los ingresos familiares se genera en la producción agrícola local. Si bien no existen estadísticas regionales sobre la composición de estos ingresos familiares, una encuesta realizada en 36 familias de la región del salar de Uyuni ha mostrado la gran diversidad de los ingresos según el estatus social y en particular, el acceso a actividades no agrícolas (Acosta Alba 2007). Para estas familias, las ganancias obtenidas de la producción de quinua tenían valores medios cercanos a 3500 USD/año y máximos de 18000 USD/año, llegando a constituir hasta el 70% de los ingresos familiares (*ibid.*). Cabe mencionar que estas cifras son del año 2007, antes de la duplicación del precio de la quinua que tuvo lugar en el 2008. Una encuesta independiente realizada en el año 2010 en otra comunidad, de 35 familias, indica que la mayoría de los agricultores tenía un ingreso de 13000 USD/año y que el 11% de los agricultores con mayor expansión de terreno (> 30 ha) tenían un ingreso de 45500 USD/año (Medrano Echalar *et al.* 2011). En todo caso, el éxito de la quinua hizo que en la economía familiar de los productores locales el cultivo suplantara la ganadería en su función tradicional de ahorro y seguro familiar. Además, al contrario del ganado, la quinua no exige una presencia continua en las áreas productivas, lo que favorece la diversificación de los ingresos familiares por medio de la movilidad y la pluriactividad fuera de la zona de producción (Chaxel 2007, Vassas Toral 2011).



**Figura 3:** Ejemplos de trayectorias migratorias de tres comunarios productores de quinua del Altiplano Sur. Fuente: Vassas Toral (2011)

El auge de la producción comercial de la quinua contribuye así a un desarrollo integrado de la región, vinculando las comunidades rurales donde se realizan los cultivos con las ciudades cercanas en las que los productores se instalan con sus familias y donde invierten la mayor parte de sus ingresos agrícolas en la educación de sus hijos, en otras actividades comerciales o artesanales, o bien en la construcción de casas o en la compra de vehículos (Laguna 2011, Vassas Toral 2011). Falta todavía una evaluación integral del aporte económico de la quinua en el desarrollo del Altiplano Sur considerando no sólo la venta del producto sino también su transformación industrial, las actividades conexas (agromecánica, transporte...), las reinversiones, los impuestos, etc. Cabe mencionar que los ingresos económicos generados en esta región sólo por la venta de la quinua se han evaluado en 360 millones de bolivianos (aprox. 50 millones USD) (datos 2008, Aroni *et al.* 2009).

### Situación actual y perspectivas del cultivo.

Si bien durante casi tres décadas el desarrollo de la producción de la quinua en el Altiplano Sur tuvo un escaso respaldo por parte de las instituciones oficiales, desde hace diez años el auge de la Quinua Real motivó un gran número de programas y proyectos de apoyo nacionales e internacionales. Fruto del interés creciente por este producto emblemático del vigor de la agricultura andina, las fundaciones AUTAPO y PROINPA han publicado una serie de documentos de trabajo accesibles vía internet, entre los cuales se resaltan la síntesis de Aroni *et al.* (2009) sobre la situación del cultivo de la Quinua Real en la región y el informe más general elaborado por Rojas (2011) como base para la declaración del Año Internacional de la Quinua. También se ha publicado un atlas productivo de la Quinua Real con mapas satelitales y estadísticas sobre los principales indicadores biofísicos y socioeconómicos en diez municipios de la región

(Fundación AUTAPO 2012). Sin poder detallar la gran cantidad de informaciones técnicas, sociales y económicas disponibles en estos documentos, destacamos a continuación algunos elementos referenciales difundidos en las síntesis mencionadas, antes de comentar más específicamente sobre los desafíos ambientales y sociales que plantea el auge de la Quinua Real.

#### *La quinua en algunas cifras.*

En el Altiplano Sur, la quinua es cultivada por unos 6300 productores permanentes y otros 8000 productores con residencia principal por fuera de las comunidades. Cerca del 70% de la producción se realiza en las planicies. La siembra se encuentra mecanizada en un 76% de los casos, mientras que la cosecha es casi exclusivamente manual: sólo un 2% de los productores usan motosegadoras. En la gestión agrícola 2007-2008, la producción total fue cercana a las 28000 toneladas en una superficie cultivada de aproximadamente 49000 ha, a las cuales se añaden 46000 ha de tierras en descanso. En Bolivia, la demanda interna de quinua se evalúa en 7000 toneladas/año. Como se señaló anteriormente, el valor de las exportaciones registradas de quinua se incrementó en casi 40 veces durante los últimos 10 años. El volumen exportado oficialmente pasó de 1400 toneladas en el 2000 a 10400 toneladas en el 2008, subiendo a 26000 toneladas en el 2012. Después de los Estados Unidos (10.1 millones USD por 4095 toneladas en 2008), Francia es el segundo destino con mayor exportación para la Quinua Real (3.7 millones USD por 1700 toneladas en 2008). Existen en Bolivia 62 plantas procesadoras de quinua, artesanales e industriales, que contribuyen al valor agregado de la quinua dentro del país.

#### *Un agrosistema alcanzando sus límites territoriales.*

Como se mencionó previamente, la producción anual de la quinua en el Altiplano Sur resulta de un ciclo de precipitación de dos años y, por lo tanto, de una doble área de cultivo: el área actualmente cultivada y el área ya labrada para la siembra del ciclo siguiente. Con la extensión y concentración de las superficies cultivadas, la vegetación natural de *thola* difícilmente vuelve a colonizar las parcelas en descanso dado que sus bancos naturales de semillas se empobrecen rápidamente. El suelo desnudo de las parcelas en descanso y de aquellas destinadas a

la siembra queda así expuesto a la acción del viento, particularmente fuerte en el altiplano. Considerando la dinámica muy lenta de la vegetación nativa (Joffre & Acho 2008, Medrano Echalar *et al.* 2011), la conversión de grandes superficies de pastizales en cultivos representa un cambio casi irreversible de la cobertura vegetal, favoreciendo los procesos de erosión eólica (Michel 2008). Además, los terrenos recién convertidos en cultivos se concentran en las zonas planas y bajas, las cuales son más susceptibles a las heladas que las laderas circundantes debido al drenaje del aire frío durante la noche (Pouteau *et al.* 2011). De hecho, eventos recientes de heladas en 2007 y 2008 mostraron la vulnerabilidad del agrosistema de quinua en estas nuevas zonas de producción. Sin embargo, dados los altos precios de comercialización, los productores aceptan el riesgo económico de cultivar en las planicies.

La pérdida de fertilidad de los suelos en los cultivos mecanizados de quinua se menciona a menudo como un fenómeno preocupante y como principal causa de una supuesta disminución de los rendimientos de quinua, y prueba de que el agroecosistema estaría excediendo su capacidad de carga (e.g. Cossio 2008, Félix & Vilca 2009, Jacobsen 2011). Un estudio reciente de la fertilidad de los suelos en la zona de mayor producción de quinua indica que el 88% de los suelos tienen una fertilidad de baja a moderada (Cárdenas & Choque 2008), pero sin datos que permitan apreciar el impacto del cultivo de la quinua sobre este nivel de fertilidad. El mismo estudio no encuentra ninguna relación entre el rendimiento de quinua obtenido en 10 comunidades de la zona y la duración media del uso de la tierra, que puede ser entre 3 y 50 años. En general, las “evidencias” invocadas para alertar respecto a una acelerada degradación de los suelos en la región consisten en estadísticas nacionales de rendimientos de granos. Primero, cabe resaltar que estos datos agregados a nivel nacional, aparte de ser inadecuados para caracterizar un fenómeno local como la fertilidad del suelo, no muestran ninguna tendencia estadística de decrecimiento de los rendimientos de quinua en los últimos 50 años que incluyen el reciente período de auge de la producción, y permitirían hacer una comparación con el período anterior (Winkel *et al.* 2012). Más importante, es de notar que el rendimiento de granos no es un indicador apropiado para una

eventual degradación de los suelos ya que, aparte de la fertilidad del suelo, el rendimiento anual de un cultivo resulta de los efectos concomitantes de varios otros factores como el clima, las prácticas de cultivo y los eventuales ataques de plagas. En el caso de la quinua en el Altiplano Sur, los mediocres resultados de la siembra mecanizada en comparación con la siembra manual y la localización predominante de los cultivos en planicies expuestas al viento, las heladas y las plagas, son igualmente factores que se combinan con una eventual pérdida de fertilidad del suelo para explicar los rendimientos de sólo 500-700 kg/ha usualmente obtenidos en las planicies, en comparación de los 1000-1500 kg/ha observados en laderas cuidadosamente cultivadas a mano y con menor impacto del clima y de las plagas (Winkel *et al.* 2012).

Considerando la incertidumbre en cuanto a los indicadores agronómicos de calidad de los suelos y a su relación con la producción de granos, el criterio más tangible del límite agroecológico alcanzado por el sistema de cultivo actual, se encuentra en la superficie de las tierras convertidas para la producción de quinua. En la mayoría de las comunidades, las áreas de tierras mecanizables convertidas en parcelas cultivables han llegado a su máximo de expansión, agudizando las tensiones entre las familias en relación con el acceso a la tierra (Vieira Pak 2012) y reduciendo la cobertura vegetal natural (Michel 2008). Aroni *et al.* (2009) estiman que entre las 145000 ha potencialmente cultivables en el Altiplano Sur, un tercio se encuentra en producción, otro tercio en descanso, y el restante continúa siendo “tierras vírgenes” (áreas en reserva, pastizales, pendientes abruptas, etc.). Si bien los cálculos económicos de la mayoría de los productores no les conducen a preservar las áreas de vegetación nativa para actividades ganaderas, hoy en día poco provechosas, falta todavía incluir en estos cálculos los servicios ecológicos de las áreas naturales como son: obstáculos a la erosión eólica e hídrica, reservas de predadores naturales contra las plagas de la quinua, fuentes de recursos no cultivados como la leña o las plantas medicinales. Para beneficiar de estos servicios ecológicos y garantizar la sostenibilidad del agrosistema se recomienda mantener barreras vivas o sembrar la quinua en eras o fajas combinadas con la vegetación natural (ANAPQUI 2009, Michel 2008).

Las desigualdades en el acceso a la tierra y la uniformización del paisaje son algunas de las vulnerabilidades del socio-ecosistema de la quinua frente a los cambios actuales en el uso de los recursos territoriales. Conscientes de estas vulnerabilidades, los productores, las organizaciones campesinas y las autoridades a cargo de la gestión territorial, emprendieron procesos locales de concertación para implementar nuevas regulaciones y normas para el uso de los recursos territoriales.

#### *Producción y comercialización en búsqueda de regulaciones.*

Desde la reforma agraria de 1952, cuyo impacto fue marginal en el Altiplano Sur, ambientalmente inhóspito y desdeñado por grandes terratenientes, una multiplicidad de normas y reglamentos relacionados con el acceso y uso a la tierra se fueron creando. Normas y costumbres locales, transmitidas y controladas por las autoridades indígenas, coexisten con leyes nacionales emitidas por el gobierno central. Normas colectivas, fruto de concertaciones públicas, compiten con meras situaciones de poder o con los controles establecidos por empresas comerciales o certificadoras. Sin embargo, pocas de estas normas se aplican de manera uniforme en la región, ya sea por falta de un consenso suficiente en la población local o por la falta de recursos para su implementación.

En este contexto, la ONG Agrónomos y Veterinarios sin Fronteras (AVSF, antes VSF-CICDA) en coordinación con la Asociación Nacional de Productores de Quinua (ANAPQUI) emprendió a inicios de la década del año 2000 un proyecto para definir nuevas normas colectivas de gestión territorial apropiadas a la evolución reciente del agrosistema en varias comunidades de la zona (Félix & Vilca 2009). Después de largos procesos de sensibilización y concertación con los actores locales, se emitieron recomendaciones técnicas y reglamentarias, individuales y comunales, para una producción sostenible de la quinua en el Altiplano Sur (ANAPQUI 2009). Más que todo, se implementó una metodología participativa y evolutiva por la cual los actores locales, en la búsqueda de superar sus desacuerdos y conflictos, consensuaron los derechos y las obligaciones para alcanzar una gestión equitativa y sostenible del territorio comunal.



## Usos y mercados.

*Tradicionales o innovadores, los usos de la quinua son múltiples.*

El excepcional valor nutritivo de la quinua se encuentra bien documentado y abarca, más allá del contenido de proteínas y el balance de amino-ácidos, un alto contenido en minerales, antioxidantes, ácidos grasos insaturados y fibra dietética (Rojas 2011, Soraide Lozano 2011). La quinua ofrece múltiples usos que no sólo son alimentarios sino también medicinales y rituales en sus formas ligadas a la tradición, así como también químicos, farmacéuticos y cosméticos en sus formas contemporánea e industrial.

La plasticidad culinaria de la quinua permite la elaboración de 35 preparados tradicionales diferentes entre sopas, segundos, masas y bebidas (Rojas 2011). Las poblaciones del Altiplano Sur consumen los granos de quinua en forma perlada, graneada, molida, tostada, o fermentada (caso de la bebida tradicional llamada *q'usa*). Los mineros y campesinos del Altiplano usan los granos de quinua en las mesas rituales. Las hojas de quinua también se consumen como en el *yuyu*, una sopa ritual que los ganaderos de la región preparan en las fiestas de las llamas que se celebran entre Año Nuevo y Carnaval, cuando las hojas de quinua son aun tiernas. Los tallos de la quinua convertidos en ceniza se mezclan con otras sustancias para preparar la *lejía*, una forma de pasta indispensable para activar los alcaloides en el consumo tradicional de la hoja de coca. En cuanto a los usos medicinales de la quinua, son diversos y usan todas las partes de la planta (Rojas 2011), siendo los que se reportan con más frecuencia: la dieta de convalecientes y los emplastos para curar fracturas de huesos (Bonifacio *et al.* 2012).

Los usos no tradicionales de la Quinua Real se promovieron en Bolivia desde los principios de los años setentas en numerosos eventos organizados por la Universidad Técnica de Oruro para valorar la cocina criolla (Iñiguez de Barrios 1977). Hoy en día la quinua en forma de harina, hojuelas o *pipocas* entra en la composición de diversos productos industriales como fideos, galletas, barras energéticas y cereales elaborados dentro o fuera del país. Estos productos se incluyen en los programas estatales de desayuno escolar y subsidios familiares

y también satisfacen una creciente demanda internacional para alimentos sin gluten.

El consumo interno de la quinua ha sido el tema de varios artículos en la prensa internacional, denunciando un alarmante caso de pérdida de seguridad alimentaria para las poblaciones locales por causa del alza de los precios y del afán de lucro de los productores y exportadores (e.g. Sherwin 2011). Sin embargo, los argumentos planteados no resisten ante un análisis profundizado de las prácticas locales de consumo alimentario y carecen de la perspectiva histórica para apreciar su evolución desde antes del actual auge comercial (Banks 2011, Winkel *et al.* 2012). En particular, se basan en una comparación de las cantidades de quinua, fideos y arroz consumidas por las poblaciones locales, comparación frecuente (e.g. Montoya 2009, Borja & Soraide 2007) pero inadecuada en un plan nutricional debido a las características propias de la quinua, en particular su riqueza en proteínas y fibra dietética: los consumidores locales saben que comiendo quinua se logra saciedad con poco volumen de granos (Rojas 2011) y, por lo tanto, suelen añadir sólo moderadas cantidades de quinua en sus sopas y sus platos (Banks 2011). Entonces, comparar en una base cuantitativa el consumo de la quinua con el de los cereales no tiene sentido pues ambos tipos de alimentos no tienen el mismo valor nutricional ni la misma función en la alimentación humana.

Entre los usos no alimentarios de la quinua se destacan las aplicaciones de la saponina, subproducto del grano de las quinuas amargas – como es el caso de las variedades que componen la Quinua Real –, cuyas propiedades detergentes y cosméticas eran ya conocidas por las poblaciones locales y ahora se valoran en la industria. El mismo subproducto de la quinua hace un potente bio-insecticida y, en la industria farmacéutica, un antibiótico y un coadyuvante eficaz para la absorción intestinal de ciertas medicinas (Rojas 2011). En fin, cabe mencionar los usos de la quinua en la alimentación y la salud animal, como forraje y para aliviar el mal de altura en la ganadería bovina (MDRyT & CONACOPROQ 2009).

*Una diversidad de mercados y formas de comercialización.*

Si bien los productores de la Quinua Real y sus

familias nunca dejaron de alimentarse con “el grano de oro”, este producto presenta la paradoja de haber sido valorado como recurso comercial fuera del país muchas décadas antes de volver a tener el reconocimiento perdido al interior del mismo país. Por lo tanto, la Quinua Real mostró una dinámica de mercado al inverso de lo habitual con una expansión de las exportaciones anterior a una “reconquista” del mercado interno.

A lo largo de unos 40 años de rotundo éxito comercial, la demanda de Quinua Real no dejó de cambiar de forma, pero sin que las nuevas demandas sustituyeran a las anteriores sino que se sumaran a ellas. Es así que, a la par del crecimiento de la producción, ocurrió una diversificación de los mercados y de los canales de comercialización. Hoy en día, el mercado de contrabando coexiste con el comercio formal, la quinua convencional con la quinua orgánica y la venta individual con el acopio asociativo o privado. Esta situación evita a los productores de quinua del Altiplano Sur quedarse bajo el control de unas pocas empresas comercializadoras, una posición frecuente para otros productores agrícolas en el mundo. Actualmente, son más de veinte asociaciones de productores y empresas privadas que acopian, procesan, transforman y comercializan la Quinua Real en Bolivia (Aroni *et al.* 2009). Cada una de estas organizaciones tiene sus modalidades de intervención y hasta los *rescatiris* – acopiadores rurales a menudo estigmatizados por aprovecharse de los productores más humildes –, tienen su papel en el sistema económico de la Quinua Real (Ofstehage 2010, 2012).

Aroni *et al.* (2009) describen en detalle los diversos sistemas de acopio que operan en el Altiplano Sur y determinan que la comercialización de la Quinua Real se realiza: “en un 43% de forma informal, en la feria de Challapata o a intermediarios que destinan la producción al contrabando o al mercado interno, y el 57% restante es acopiado por las organizaciones para ser comercializadas a empresas beneficiadoras y exportadoras”. Más del 95% de las exportaciones son de quinua en grano, la mayor parte con certificación orgánica y una proporción menor para comercio justo. También existe una demanda creciente para derivados de la quinua como son: harina, hojuelas, pastas, *pipocas*, cereales o barras de quinua con chocolate. Esta demanda permitió

desarrollar una industria nacional ahora capaz de contribuir igualmente a la amplificación del mercado interno con varios de sus productos siendo incorporados en los programas gubernamentales de subsidio alimentario.

### Cuestiones y problemas.

Los productores de Quinua Real del Altiplano Sur fueron precursores y ahora líderes en el cultivo de la quinua para la exportación. Después de 40 años, sus éxitos son fruto no sólo de esfuerzos continuos, sino también, de incesantes ajustes a una demanda creciente y diversa, demostrando su alta capacidad de adaptación y de aprendizaje social. Por la duración del auge de la quinua y la multiplicidad de los actores involucrados en este fenómeno, las cuestiones y los problemas que se plantean hoy han sido ya el objeto de varios diagnósticos, unos enfocados en un tema específico como los recursos genéticos o la fertilidad de los suelos (Arce 2008, Bonifacio *et al.* 2012, Cárdenas & Choque 2008, Michel 2008), otros sistematizando el máximo posible de la información técnica, social y económica disponible (Aroni *et al.* 2009, Soraide Lozano 2011), y sólo algunos reflexionando de manera más integradora sobre la problemática socio-ambiental y las posibles soluciones (Cárdenas & Choque 2008, Félix & Vilca 2009).

De todos los temas examinados por los investigadores, el uso de la tierra se constituye como el más importante y también el más debatido por los medios de comunicación. La mecanización, la falta de descanso y de abono serían las causas de una acelerada degradación de los suelos, alimentando el círculo vicioso de una creciente expansión del cultivo en desmedro del área pastoril. Sin embargo, hasta hoy no se ha publicado ningún trabajo que demuestre una relación clara, a corto y largo plazo, entre el cultivo de la quinua y la fertilidad de los suelos de la región. La falta de fundamento científico no impide el desarrollo de un abundante discurso respecto al agotamiento de los suelos y las soluciones agrotécnicas para resolverlo. Muchos recomiendan la incorporación sistemática de estiércol de camélidos u ovinos. Sin duda esta práctica permitiría revalorizar la actividad ganadera y, así, volver a un mejor equilibrio del agrosistema entre cultivo y ganadería. Pero el interés del estiércol en término de fertilidad del suelo parece muy incierto pues, como señalan Cárdenas &

Choque (2008, pág. 64): “el contenido de nitrógeno en el estiércol es muy pobre y dinámico, asimismo, el fósforo y potasio se pierden o son retenidos por las fracciones minerales (...). La relación carbono/nitrógeno es muy alta en el estiércol por lo tanto el grado de mineralización es muy bajo, y el humus presente tiene componentes difíciles de mineralizar que se acumulan en el suelo”. Estas conclusiones son confirmadas por el estudio profundizado de Miranda Casas (2012) en el que, en parcelas de secano, se observa una respuesta limitada de la producción de granos de la quinua al abonamiento con estiércol, posiblemente debido a mecanismos de inmovilización del nitrógeno en el suelo. Sin embargo, el autor señala que las ventajas del abono orgánico pueden ser indirectas y relacionarse, por ejemplo, con el mejoramiento de ciertas propiedades fisicoquímicas del suelo como son la resistencia a la erosión y la permeabilidad. Falta todavía evaluar estos beneficios potenciales bajo las condiciones agroecológicas del Altiplano Sur.

De manera similar, si bien parece sensata la recomendación de disponer barreras vivas o de sembrar en fajas y eras para frenar la erosión de los suelos, hace falta hasta hoy una demostración de la eficiencia real de estos dispositivos. Tampoco se evaluó su aceptación por parte de productores, los cuales no tienen todos el mismo acceso a la tierra ni la misma capacidad económica. La opción de volver al sistema ancestral de *mantas* (práctica de alternancia entre cultivos y ganadería en el territorio comunal) parece fuera de contexto por la importancia actual del cultivo de la quinua en el territorio y la economía local, sin comparación con la situación que prevalecía antes del auge comercial de la quinua cuando las *mantas* permitían regular la fertilidad del suelo y el equilibrio entre el cultivo y la ganadería.

En cuanto a la excesiva expansión del área cultivada, algunos ven la solución en una intensificación del cultivo bajo riego que, permitiendo mayores rendimientos en superficies reducidas, serviría para frenar su expansión (CTPS 2008). Sin embargo, en una zona con recursos de agua muy escasos y a menudo salinos, el riego presenta una amenaza seria para la sostenibilidad agrícola (Geerts *et al.* 2008), sin hablar de la dificultad técnica de mantener infraestructuras de riego en una zona expuesta a frecuentes heladas y de los problemas

socioeconómicos inherentes a un acceso equitativo a estas costosas infraestructuras. Aquí, al igual que con otras innovaciones relacionadas con las prácticas de cultivo, hacen falta estudios sistematizados e integradores que consideren las condiciones ambientales locales y los aspectos socioeconómicos particulares de los productores con una perspectiva de sostenibilidad social y ecológica del agroecosistema (Cárdenas & Choque 2008). De manera general, se consideran como altamente peligrosas las inversiones para un cultivo intensivo de la quinua en una región con restricciones ambientales tan fuertes como en el Altiplano Sur (Michel 2008).

Si el tema del uso de la tierra suscita un gran interés por parte de varios actores – algunos de ellos promotores de lucrativas soluciones agrotécnicas –, el tema del acceso a la tierra quedó por un largo tiempo relegado. Sin embargo, fue también a causa de un cierto vacío normativo en este tema que se desató la expansión del cultivo, con el efecto de ahondar las desigualdades entre los comuneros respecto al acceso a la tierra hasta generar, en algunos casos, conflictos dentro y entre las comunidades. Como lo hemos visto antes, son las ONGs y las asociaciones de productores quienes afrontaron esta cuestión altamente sensible a través de las normas para una producción agrícola sostenible. Hace falta ahora una mayor difusión e implementación de estas normas comunales de gestión territorial, garantizando el marco jurídico de la tenencia y el acceso a la tierra. En este aspecto, parece interesante establecer cómo la modalidad de usufructo de las parcelas cultivadas en un sistema de propiedad comunitaria de la tierra, permite hasta ahora proteger a los comuneros contra los intereses exteriores y, así, contribuir a la sostenibilidad del agrosistema local.

De manera similar, el proceso de la denominación de origen de la Quinua Real debería ampliarse a una protección del acceso de los productores locales a sus propios recursos de semillas. Aquí, un aspecto marginal, aunque básico, involucra la valoración práctica de la diversidad de las variedades locales. Si bien sus diversos usos alimentarios son reconocidos, sus aptitudes agroecológicas permanecen poco conocidas y se habla de diferentes “ecotipos” sin poder hacer referencia a respuestas diferenciadas de las variedades frente a los factores ecológicos

y en particular, edafo-climáticos. Esta falta de conocimiento impide entender las posibles interacciones entre genotipo y medio ambiente que se observan en la quinua (Bertero *et al.* 2004), lo que invalida los esfuerzos para diferenciar las características fisicoquímicas y el valor nutritivo de las variedades.

Además de los problemas relacionados con la tenencia de la tierra antes mencionados, se deben resaltar otras dos cuestiones de índole social. Primero, el papel de la migración temporal, práctica muy común entre los productores de quinua y que, a veces, se estigmatiza como la causa de un comportamiento irresponsable de explotación “extractiva” de los recursos territoriales por parte de los productores migrantes. Como lo demuestra el estudio de Vassas Toral (2011), las realidades sociales resultan más complejas y vale examinar cómo el sistema de movilidad y de pluriactividad de los productores de quinua participa también en la sostenibilidad social y en el desarrollo rural-urbano en la región. Más allá, considerando la capacidad de adaptación y de aprendizaje social de los productores, parece oportuno estudiar si su reactividad y su adaptabilidad no se verían afectadas por la multiplicación de las normativas territoriales y agrocomerciales. La clave aquí parece estar en el poder de proposición y de negociación que los productores adquieren cuando se organizan y se involucran en entidades representativas capaces de auto-transformación (Young 2010), evitando así la centralización excesiva de las regulaciones o la privatización de sus bienes comunes (Ostrom 1990).

### Conclusiones.

A pesar de sus lagunas, los conocimientos adquiridos hasta ahora respecto la producción de la quinua en el Altiplano Sur de Bolivia son suficientes para vislumbrar algunas explicaciones para las cuatro paradojas que caracterizan el auge comercial de este grano. En ciertos casos, estas mismas explicaciones orientan por dónde se deben buscar las soluciones a los desafíos resultantes de la revolución agrícola experimentada por la región en los últimos 40 años.

“Un grano muy especial, producido por cultivadores no especializados”: si bien la quinua se beneficia de mercados de nichos, algunos muy exigentes y sofisticados, sus productores siguen estableciendo

la pluriactividad – agrícola y no agrícola – y la movilidad como dos condiciones indispensables para la sostenibilidad económica de una agricultura familiar en un contexto regional de grandes incertidumbres agroclimáticas y económicas. Estas estrategias familiares de pluriactividad y de movilidad se desarrollan en desmedro de la ganadería pero, por otro lado, favorecen un desarrollo integrado entre comunidades rurales y ciudades medianas o grandes de la región, reduciendo así la necesidad de migración hacia metrópolis distanciadas.

“Un cultivo productivo, en un medioambiente adverso”: estudios recientes han revelado algunas de las adaptaciones ecofisiológicas específicas de las variedades de Quinua Real, como el vigor del sistema radicular que permite a las plantas explorar rápidamente el suelo en profundidad y explotar de manera eficiente los escasos recursos de agua y nutrientes. Las aptitudes de las plantas se complementan con las prácticas locales de cultivo de secano lo que ha permitido desarrollar una agricultura con muy baja utilización de insumos artificiales (fertilizantes químicos, carburante, plaguicidas). Se sabe, por ejemplo, que el descanso bienal permite almacenar en el suelo la precipitación de dos años necesaria para que se cumpla un ciclo de cultivo de la quinua en esta región árida. En cambio, la práctica del cultivo en hoyos no ha recibido mucha atención todavía cuanto a su interés agroecológico. Posiblemente, este sería múltiple y podría relacionarse con la optimización del uso del agua y de los nutrientes por las plantas, la resistencia al viento, la tolerancia a las heladas y a las plagas.

“Una producción orgánica, potencialmente insostenible”: es innegable que, en algunos casos, se realizan prácticas de cultivo no sostenibles en la región. Esto se ha dado a causa de los escasos conocimientos que se poseían en los inicios sobre la manera de llevar un cultivo comercial de gran escala en un ambiente extremo y con un uso limitado de insumos artificiales. Hoy en día se recomienda el abonamiento orgánico, las barreras vivas así como la siembra en fajas y eras, aunque sin tener hasta ahora prueba alguna de la eficacia de estos dispositivos. Esto no debe inducir a rechazar estas soluciones parciales, sino más bien debe incitar a considerar en otra escala los problemas que se



pretende resolver con ellas. Es así que la estructura del paisaje rural – es decir, la organización del espacio físico que integra los cultivos con las áreas pastoriles o naturales – debería ser considerada por su rol múltiple en la conservación de los suelos, el control de las poblaciones de plagas, el equilibrio entre el cultivo y la ganadería, los servicios no propiamente agropecuarios (leña, plantas medicinales).

“Una dinámica sectorial, en búsqueda de regulaciones colectivas”: el desarrollo del cultivo de la quinua se originó con una visión sectorial de la cadena productiva de este cultivo en particular, inicialmente sin consideración para la actividad ganadera ni para el espacio natural. Con el tiempo y debido a la necesidad de consensuar una gestión equitativa y sostenible del territorio, los comuneros y las asociaciones de productores de quinua entablaron varios procesos participativos de definición de nuevas normas comunales de uso de la tierra. Estas mismas normas locales fueron incluidas en el 2012 en la revisión de las normas de comercio justo FairTrade International para promover la producción sostenible de la quinua, mostrando un caso exitoso de regulación *bottom-up*, desde la base hacia las instancias internacionales. En cuanto a la denominación de origen de la Quinua Real, este proceso normativo parece todavía incierto por la complejidad de los procedimientos internacionales destinados a garantizar los derechos de los estados y de los agricultores sobre sus recursos fitogenéticos.

Si consideramos la organización espacial del paisaje rural junto con los aspectos sociales relativos al acceso a la tierra, entonces sobresalen el territorio, su organización y su gestión, como los asuntos que más necesitan de soluciones innovadoras para enfrentar las transformaciones inéditas en la agricultura y las sociedades locales que acompañaron el auge de la quinua en las últimas cuatro décadas. En la agenda para un desarrollo agropecuario sostenible del Altiplano Sur, estas innovaciones de índole organizacional y social deberían recibir tanta atención como las innovaciones agrotécnicas.

Al final cabe destacar que estas diversas soluciones de adaptabilidad del agrosistema de la Quinua Real en el Altiplano Sur de Bolivia se relacionan con:

- un material vegetal con excepcionales

adaptaciones al medio ambiente y con una alta diversidad intra- e inter-varietal posiblemente esencial para un agrosistema requiriendo pocos insumos y un posible modelo para el *dry-farming* en otras regiones montañosas y áridas del mundo. Por lo tanto no se deben alterar las características biológicas de este material vegetal, ni sustraer este patrimonio colectivo del control de los productores. La denominación de origen puede ser un dispositivo para esta protección en un contexto de difusión acelerada del cultivo de la quinua fuera de su cuna andina.

- una sociedad local reactiva y proactiva y con un alto nivel de aprendizaje social que se funda en varios mecanismos de cohesión social: vigorosas costumbres y tradiciones comunitarias, activas prácticas asociativas, apego a un régimen comunitario de tenencia de la tierra. Aquí se debe prestar atención de no caer en las apreciaciones maniqueas que oponen productores migrantes contra productores permanentes, cultivadores contra ganaderos, *rescatiris* contra acopiadores, Lípez contra Intersalar, etc. Los factores de cohesión y aprendizaje social permiten a la sociedad local no sólo adaptarse a los cambios del clima y de los mercados, presentes en la región desde mucho antes del auge de la quinua (Banks 2011). Los mismos factores permiten también que la sociedad resista las tendencias de comando-y-control y los “paquetes” agrotécnicos y financieros que suelen presentarse cuando emerge una producción agrícola de algún interés económico (Holling & Meffe 1996, Briggs 2003). Estos factores de cohesión social son la clave para la soberanía agrícola y alimentaria de las poblaciones locales así como del país entero (De Schutter 2011).

## Referencias

Acosta Alba I (2007). *Durabilité des systèmes de production de l'altiplano sud bolivien : quels équilibres entre élevage et agriculture ?* Mémoire de Master. AgroParisTech, Université Paris 7, Paris, France. 44 p. Disponible en: [www.ird.fr/equeco](http://www.ird.fr/equeco)

Alvarez-Flores R (2012). *Réponses morphologiques et architecturales du système racinaire au déficit hydrique chez des Chenopodium cultivés et sauvages d'Amérique andine*. Thèse de Doctorat. Université Montpellier 2, Montpellier, France. 114 p.

Alvarez-Flores R, Winkel T, Nguyen-Thi-Truc A,

Joffre R (2014). Root foraging capacity depends on root system architecture and ontogeny in seedlings of three Andean *Chenopodium* species. *Plant and Soil*: DOI 10.1007/s11104-11014-12105-x

ANAPQUI (2009). *Normas básicas para una producción sostenible de la quinua real del altiplano sur de Bolivia*. Asociación Nacional de Productores de Quinua, La Paz, Bolivia. 8 p.

Arce M (2008). *Caracterización de germoplasma de quinua (Chenopodium quinoa, W.) de ecotipos utilizados por productores del sudoeste de Potosí*. Fundación AUTAPO. Potosí, Bolivia. 70 p. Disponible en: [www.infoquinua.bo](http://www.infoquinua.bo)

Aroni JC, M Cayoja & MA Laimé (2009). *Situación al 2008 de la Quinua Real en el Altiplano Sur de Bolivia*. Fundación AUTAPO. La Paz, Bolivia. 172 p. Disponible en: [www.infoquinua.bo](http://www.infoquinua.bo)

Banks E (2011). *Bolivian quinoa questions: production and food security*. The Andean Information Network. Disponible en: <http://ain-bolivia.org/2011/05/bolivian-quinoa-questions-production-and-food-security/>

Baudoin-Farah A (2009). *Evaluación y perspectivas del mercado de semillas certificadas de quinua en la región del Salar de Uyuni en el Altiplano Sur de Bolivia*. Tesis de Maestría. AgroParisTech, Paris, Francia. 35 p. Disponible en: [www.ird.fr/equeco](http://www.ird.fr/equeco)

Bertero HD, AJ de la Vega, G Correa, SE Jacobsen & A Mujica (2004). Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crops Research* 89: 299-318.

Briggs S (2003). Command and control in natural resource management: revisiting Holling and Meffe. *Ecological Management & Restoration* 4: 161-162.

Cárdenas CJ & Choque MW (2008). *Fertilidad, uso y manejo de suelos en la zona del Intersalar, departamentos de Oruro y Potosí*. Fundación AUTAPO, Programa Quinua Altiplano Sur. La Paz, Bolivia. 105 p.

Chaxel S (2007). *Trajectoires de vie des familles de la zone Intersalar (Bolivie) et changements de pratiques agricoles*. Mémoire de Master. IRC-SupAgro. Montpellier, France. 90 p. Disponible en:

[www.ird.fr/equeco](http://www.ird.fr/equeco)

Chevarría-Lazo M & J Bourliaud (2011). Gestión legal de los recursos genéticos de quinua en Bolivia. In: Winkel T (coord.) *Para durar, cambiemos: paradojas y lecciones del éxito de la quinua*. Montpellier, Francia, Cooperación Franco-Boliviana. ANR (Agencia Nacional de la Investigación, Francia), Proyecto ANR-06-PADD-011. pp. 58-67. Disponible en: [www.ird.fr/equeco](http://www.ird.fr/equeco)

Cossio JT (2008). Agricultura de conservación con un enfoque de manejo sostenible en el Altiplano Sur. *Hábitat* 75: 44-47.

CPTS (Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles). 2011. *Desarrollo agrícola sostenible de la quinua en tierras áridas, no tradicionales, del Altiplano boliviano*. Taller "Avances en la sostenibilidad de la quinua en Bolivia". CABOLQUI. La Paz, Bolivia.

Danielsen S, A Bonifacio & T Ames (2003). Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Reviews International* 19: 43-59.

De Schutter O (2011). *Hacia un reparto más justo del valor: modelos comerciales alternativos en favor del derecho a la alimentación*. Informe del Relator Especial sobre el derecho a la alimentación. Nueva York, Naciones Unidas. Disponible en: <http://www.srfood.org/index.php/es/informesoficiales>

Del Castillo C, T Winkel, G Mahy & JP Bizoux (2007). Genetic structure of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from the Bolivian altiplano as revealed by RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54: 897-905.

Félix D & C Vilca (2009). *Quinua y territorio: experiencias de acompañamiento a la gestión del territorio y a la autogestión comunal en la zona Intersalar del altiplano boliviano*. Lyon, France: VSF-CICDA-Ruralter. 158 p.

Flores Ovando A (2008). *Revalorización del saber local, en áreas de producción del cultivo de quinua (región de los Lipez)*. Fundación AUTAPO. Potosí, Bolivia. 39 p. Disponible en: [www.infoquinua.bo](http://www.infoquinua.bo)

Franqueville A (2000). *La Bolivie, d'un pillage à l'autre*. IRD Éditions. Paris, France.

Fundación AUTAPO (2012). *Atlas productivo de la Quinua Real*. FAUTAPO Educación para el Desarrollo, Programa COMPASUR. La Paz, Bolivia. 192 p.

- Gamarra M, A Bonifacio & E Peralta (2001). *Mejoramiento genético y participativo en quinoa al mildiu en Peru, Bolivia y Ecuador*. Actas de la Conferencia Internacional "Futuras Estrategias para Implementar Mejoramiento Participativo en los Cultivos de las Zonas Altas en la Región Andina". INIA-Peru, PROINPA-Bolivia, INIAP-Ecuador. 23-27 sept. 2001. Quito, Ecuador. 39 p.
- Geerts S, D Raes, M Garcia, C Del Castillo & W Buytaert (2006). Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: a case study for quinoa. *Agricultural and Forest Meteorology* 139: 399-412.
- Geerts S, D Raes, M Garcia, O Condori, J Mamani, R Miranda, J Cusicanqui, C Taboada, E Yucra & J Vacher (2008). Could deficit irrigation be a sustainable practice for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the Southern Bolivian Altiplano? *Agricultural Water Management* 95: 909-917
- Grasset L (2011). *Diversité génétique des quinoas archéologiques*. Mémoire de Master 1, Université Montpellier 2. Montpellier, France.
- Holling CS & GK Meffe (1996). Command and control and the pathology of natural resource management. *Conservation Biology* 10: 328-337
- Iñiguez de Barrios B (1977). *Mil delicias de la quinoa*. Editora Quelco. Oruro, Bolivia. 420 p.
- Jacobsen SE (2011). The situation for quinoa and its production in southern Bolivia: from economic success to environmental disaster. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 390-399.
- Joffre R & J Acho (2008). Quinoa, descanso y tholares en el sur del Altiplano Boliviano. *Hábitat*: 38-41.
- Johnsson M (1986). *Food and culture among Bolivian Aymara: symbolic expressions of social relations*. Acta Universitatis Upsaliensis, Uppsala Studies in Cultural Anthropology 7. Uppsala, Sweden. 188 p.
- Knight RL & GK Meffe (1997). Ecosystem management: agency liberation from command and control. *Wildlife Society Bulletin* 25: 676-678.
- Laguna P (2011). *Mallas y flujos: acción colectiva, cambio social, quinoa y desarrollo regional indígena en los Andes Bolivianos*. Tesis de Doctorado, Universidad de Wageningen. Wageningen, Países Bajos. 516 p. Disponible en: <http://edepot.wur.nl/188049>
- Mazoyer M & L Roudart (2006). *A history of world agriculture from the neolithic age to the current crisis*. Translated by James H. Membréz. London, UK: Earthscan Publ. 528 p.
- Mazoyer M & L Roudart (2009). *História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea*. Traducido por C.F. Falluh Balduino Ferreira. São Paulo, Brasil: editora UNESP. 568 p.
- MDRyT (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras) – CONACOPROQ (Concejo Nacional de Comercializadores y Productores de Quinoa) (2009). *Política Nacional de la Quinoa*. La Paz, Bolivia, Ministerio de Desarrollo Rural y Tierra, Concejo Nacional de Comercializadores y Productores de Quinoa: 118 p.
- Medrano Echalar AM, JC Torrico Albino & J Fortanelli Martínez (2011). Análisis de la sostenibilidad (sic) de la producción de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el intersalar boliviano. Sustainability analysis of quinoa production (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the Bolivian intersalar. *CienciAgro* 2: 303-312.
- Michel AJ (2008). *Estudio de suelos del área productora de Quinoa Real, Altiplano Sur boliviano*. Fundación AUTAPO, Programa Quinoa – Altiplano Sur. Sucre, Bolivia. 159 p. Disponible en: [www.infoquinoa.bo](http://www.infoquinoa.bo)
- Miranda Casas R (2012). *Adubação orgânica em condições de irrigação suplementar e seu efeito na produtividade da quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) no planalto da Bolívia*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, Brasil. 98 p.
- Ofstehage A (2010). *The gift of the middleman: an ethnography of quinoa trading networks in Los Lipez of Bolivia*. Master Thesis. Wageningen, The Netherlands, Department of Social Sciences, Wageningen University: 133 p. Disponible en: <http://ssrn.com/abstract=1866330>
- Ofstehage A (2012). The construction of an alternative quinoa economy: balancing solidarity, household needs, and profit in San Agustín, Bolivia. *Agriculture and Human Values* 29: 441-454.
- Ostrom E (1990). *Governing the commons: the*

*evolution of institutions for collective action*. New York, USA: Cambridge University Press. 298 p.

Platt T (1995). Ethnic calendars and the market interventions among the Ayllus of Lipes during the nineteenth century. In: Larson B, Harris O, Tandeter E, eds. *Ethnicity, markets, and migration in the Andes: at the crossroads of history and anthropology*. Duke University Press. Durham, USA. pp. 259-296.

Pouteau R, S Rambal, J-P Ratte, F Gogé, R Joffre & T Winkel (2011). Downscaling MODIS-derived maps using GIS and boosted regression trees: the case of frost occurrence over the arid Andean highlands of Bolivia. *Remote Sensing of Environment* 115: 117-129.

Rojas W (2003). Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. *Food Reviews International* 19: 9-2.

Rojas W, coord. (2011). *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Santiago, Chile, FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

Saignes T (1995). Indian migration and social change in seventeenth-century Charcas. In: Larson B, Harris O, Tandeter E, eds. *Ethnicity, markets, and migration in the Andes: at the crossroads of history and anthropology*. Duke University Press. Durham, USA. pp. 167-195.

Sherwin A (2011). The food fat that's starving Bolivia. 22 March 2011. *The Independent*. London, UK.

Soraide Lozano D (2011). *La Quinua real en el Altiplano Sur de Bolivia*. Documento técnico para la denominación de origen. Fundación AUTAPO. La Paz, Bolivia. 108 p. Disponible en: [www.infoquinua.bo](http://www.infoquinua.bo)

Vassas Toral A (2011). *Ruralité et agriculture au prisme des mobilités spatiales. L'Altiplano Sud de Bolivie à l'heure du boom de la quinua*. Thèse de Doctorat, Université Paul Valéry - Montpellier 3. Montpellier, France. 345 p. (en francés con resumen en castellano). Disponible en: <http://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00668162/>

Vieira Pak M (2012). *El auge de la quinua en el Altiplano Sur de Bolivia: transformaciones agrarias, discursos y tensiones socioambientales*. Tesis de

Doctorado, AgroParisTech. Paris, Francia. 454 p.

Winkel T (2013). *Quinua y quinueros*. IRD Editions. Marseille, Francia.

Winkel T, coord. (2011). *Para durar, cambiemos: paradojas y lecciones del éxito de la quinua*. Informe científico final del proyecto EQUECO - Emergencia de la quinua en el comercio mundial: consecuencias para la sostenibilidad social y agrícola en el altiplano boliviano. Montpellier, Francia, Cooperación Franco-Boliviana. ANR (Agencia Nacional de la Investigación, Francia), Proyecto ANR-06-PADD-011. CIRAD/CNRS/EHESS/INRA/IRD (coord.)/UM3. Disponible en: [www.ird.fr/equeco](http://www.ird.fr/equeco)

Winkel T, HD Bertero, P Bommel, M Chevarría Lazo, G Cortes, P Gasselin, S Geerts, R Joffre, F Léger, B Martínez Avisa, S Rambal, G Rivière, M Tichit, JF Tourrand, A Vassas Toral, JJ Vacher & M Vieira Pak (2012). The sustainability of quinoa production in southern Bolivia: from misrepresentations to questionable solutions. Comments on Jacobsen (2011, J. Agron. Crop Sci. 197: 390-399). *Journal of Agronomy and Crop Science* 198: 314-319.

Young OR (2010). Institutional dynamics: resilience, vulnerability and adaptation in environmental and resource regimes. *Global Environmental Change* 20: 378-385.

Zeven AC (1998). Landraces: a review of definitions and classifications. *Euphytica* 104: 127-139.

Zimmerer KS (1998). The ecogeography of Andean potatoes: versatility in farm regions and fields can aid sustainable development. *Bioscience* 48: 445-454.

Zurita-Silva A. et al. (2013). Chapter 2.8: Quinoa drought tolerance. In: Bazile D (ed.) *Estado del Arte de la Quinua en el Mundo*.



## CAPÍTULO: 5.2

## TÍTULO: PERÚ

\*Autor para correspondencia: Angel MUJICA, <amhmujica@yahoo.com>

Autores:

L GÓMEZ-PANDO <sup>a</sup>, ÁNGEL MUJICA<sup>b</sup>, E.CHURA<sup>b</sup>, A.CANAHUA<sup>c</sup>, A.PEREZ<sup>d</sup>, T. TEJADA<sup>d</sup>, A. VILLANTOY<sup>d</sup>, M. POCCO<sup>e</sup>, V.GONZALES<sup>e</sup>, S. MARCA<sup>e</sup> y W.CCOÑAS<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Fitotecnia, Investigador Programa de Cereales y Granos Nativos, Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina S/N. La Molina, Lima - Perú

<sup>b</sup> Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú

<sup>c</sup> Proyecto SIPAN-FAO, Puno-Perú

<sup>d</sup> Instituto de Innovación Agraria, Ministerio de Agricultura-Perú

<sup>e</sup> Universidad Nacional San Agustín de Arequipa-Perú

<sup>f</sup> Universidad Nacional de Acobamba, Huancavelica- Perú

### Resumen:

La quinua es uno de los granos alimenticios utilizados en el Perú desde épocas remotas y fue uno de los cultivos básicos junto con el maíz, la papa y las raíces y tubérculos andinos antes de la época prehispánica. Aproximadamente 500 años después de la conquista española, el área cultivada se redujo en forma significativa, especialmente en los valles interandinos de la sierra central y norte, manteniéndose su cultivo en forma continua en el Altiplano de Puno, en sistemas de cultivo ancestrales o *aynokas* que permitieron conservar la diversidad genética. En el resto de la sierra se produjo una erosión genética y cultural del cultivo de la quinua.

Es en la década de los 2000 donde se desarrolla un mercado de consumo estable de la quinua en el mercado internacional y nacional con precios adecuados que ha impulsado el cultivo de la quinua a niveles de importancia económica. Con la revaloración de la quinua se inicia un crecimiento paulatino de la superficie, la cual está entre 70 a 80% localizada en Puno y el 20 a 30% en los valles interandinos y zonas altas del resto de la Sierra; iniciándose su cultivo en la región de la costa con rendimientos que superan los 7000 kg/ha. Paralelamente al crecimiento del área y mercado se realizaron trabajos de investigación en tecnologías de

cultivo, mejoramiento y procesamiento de la quinua. Actualmente el Perú es uno de los principales países productores y exportadores de quinua. En el 2012, la superficie cultivada con quinua alcanzó las 38495 ha, con un rendimiento promedio nacional de 1149 y una producción total de 44,210 toneladas.

### La domesticación de la Quinua.

En la Cuenca del Lago Titicaca, cercana a los 4000 msnm, poblaciones humanas lograron establecerse alrededor de los 10000 años B.P. (8000 B.C.E.) (Aldenderfer 1998; Rigsby *et al.* 2003) y desarrollar culturas que aprendieron a manejar la riqueza de los recursos existentes, aún en condiciones adversas de clima y suelo, adaptando sistemas de cultivo con el dominio de la papa, tubérculos menores y los *Chenopodios* (Pearsall 1992).

Evidencias arqueológicas indican que el proceso de domesticación se inicia alrededor de los 5000 años BC en Ayacucho, localizado en la Sierra Central del Perú (Uhle 1919; Lumbreras *et al.* 2008). Los restos botánicos encontrados en Sitios Arqueológicos de los Andes de Perú incluyen con muy alta frecuencia residuos de plantas del grupo *Chenopodium*, que incluye principalmente *C. quinoa*, *C. pallidicaule*, *C. quinoa* var *melanospermum*.

Nordstrom (1990) señala que los *Chenopodium* fueron domesticados en los Andes de Perú antes de 3000 B.C.E.; en base a estudios de dos caracteres muy evidentes que separan las formas silvestres de las domesticadas, sobresaliendo el grosor de la testa o cubierta de las semillas. El estudio lo realizó en colecciones procedentes de cuatro Sitios Arqueológicos de la Provincia de Junín: Cueva de Panaulauca, Pancan, Tragadero y San Juan Pata (3000 B.C.E. – A.D. 1300). Las muestras estuvieron compuestas de semillas de formas silvestres modernas (*C. salinum* “quita”, *C. ambrosoides* “paiko”) y variedades domesticadas de *Chenopodium* andinos (*C. quinoa* “Jauja”, *C. quinoa* “Bolivian”, *C. pallidicaule* “cañihua”). Encontró que las muestras de variedades modernas domesticadas tienen mayores diámetros (1.4 -3.1 mm) que las muestras silvestres (< 1.0 -1.8 mm) y que las variedades modernas de cañihua domesticada (1.0 -1.4 mm). Con respecto al grosor de testa, señala que las domesticadas modernas variaron de 0 - 28  $\mu\text{m}$ , mientras que las silvestres modernas de 15 - 80  $\mu\text{m}$ . Encontró que el 89% de las muestras arqueológicas caen dentro del rango de testa delgada de las formas domesticadas y que estas estuvieron bien representadas en la colección. Las muestras de los cuatro sitios arqueológicos combinaban un rango de 1.6 a 63.0  $\mu\text{m}$  de grosor de testa.

Eisentraut (1998), señala que las formas domesticadas de *Chenopodium* ya estaban presentes en el Arcaico Tardío - Formativo Temprano, en base a estudios realizados en los Sitios Arqueológicos de Camata y Quelcatani en el oeste de la Cuenca del lago Titicaca del Perú. El estado de domesticación lo hizo observando el grosor de la cubierta del grano, la configuración de la forma de los márgenes y los patrones de la superficie de la testa, en muestras silvestres, malezas y formas domesticadas. Eisentraut comparó el grosor de la testa considerando los siguientes valores: domesticados, <20  $\mu\text{m}$ ; silvestre y maleza, 20-25  $\mu\text{m}$  y 40+  $\mu\text{m}$ . Los resultados de las observaciones mostraron:

- En la colección de Camata; semillas de formas silvestres, malezas y variedades domesticadas y en la colección de Quelcatani; formas domesticadas y malezas.
- El grosor de la testa de las muestras de Camata estuvieron en el rango de 4.4 – 54.1  $\mu\text{m}$ , mientras que los de Quelcatani variaron de 4.3 a 23.7  $\mu\text{m}$ .
- En la colección de Camata, las formas domesticadas presentaban márgenes truncados y patrones de

superficie ligeramente ondulados, las semillas de las malezas márgenes más redondeados y patrones de la superficie lisos a ondulados y las muestras silvestres márgenes redondeados y superficies relativamente lisas. Por otro lado, en la Colección Quelcatani, los márgenes eran truncados y los patrones de superficie eran lisos, con o sin ligeros hoyuelos.

Murray (2005) realizó estudios de domesticación de *Chenopodium* en Jiskairumoko (Proyecto Arqueológico Ch'ampak Pacha), un yacimiento arqueológico precolombino (aproximadamente entre 3000-1400 A.C.) situado a 54 km al sud-este de la región de Puno, Perú. El yacimiento está a una altura de 4.115 metros, donde habita actualmente la comunidad Aymara Jachacachi, cerca del lago Titicaca. En los restos botánicos encontrados en el yacimiento se observó una abundancia de formas de *Chenopodium* lo que indicaría una fuerte dependencia alimentaria en estos grupos de plantas. Esta alta abundancia del pasado y el estado actual del cultivo en la región altiplánica indicarían que la quinua fue domesticada en esta región. Se consideró como criterio de separación de silvestre/maleza y domesticado el grosor de testa: domesticados < 20, y silvestre/maleza > 20  $\mu\text{m}$ . De la colección 97% de las muestras de semillas de *Chenopodium* (n=38) tuvieron un grosor de testa en el rango de valores para las variedades domesticadas de este taxón, mientras que sólo una semilla tuvo grosor de testa característico a los *Chenopodium* silvestre/malezas. En adición, 95% de las semillas analizadas (n=20) exhibieron márgenes truncados, una característica de las variedades domesticadas, y patrón liso de superficie testa. Las variedades domesticadas de *Chenopodium* estuvieron presentes desde los niveles más tempranos de la ocupación, lo que indicaría que algunas de estas formas ya llegaron en estado de domesticación al sitio arqueológico.

La ocurrencia consistente de testa delgada y márgenes truncados refleja una respuesta adaptativa a las presiones de selección para reducción de dormancia para germinación y vitalidad de las plántulas (Smith 1992), una respuesta a la manipulación humana que afecta los ciclos de vida de las plantas.

En la época de la conquista española, la quinua era un cultivo valioso y muchas crónicas españolas hacen referencia a este hecho (Tapia, 1979). La quinua era tan importante para los incas que era considerada sagrada y fue llamada Chisiya mama o el GRANO MADRE en

quechua (National Research Council 1989).

### Producción y Destino de la Quinua en el Perú.

#### *Serie Históricas de la Superficie, Rendimiento y Producción.*

El cultivo de la quinua, después de la conquista española, disminuyó notablemente debido entre muchas causas a la introducción de cultivos de importancia alimenticia para los españoles como la cebada, trigo, avena, habas

y arvejas. Estos cultivos prosperan sobre los 3000 m de altitud, con sistemas de cultivo simples y de bajo costo y forman ya parte de la dieta alimentaria del poblador peruano desde entonces hasta la actualidad. La superficie de los cultivos introducidos alcanza las 435106 has; superficie que por sus características y ubicación fueron probablemente sembradas con quinua en la época del incanato (Cuadro 1) (MINAG-OEEE 2013).

#### **Cuadro 1:**

Superficie, Rendimiento y Producción de los Cultivos Alimenticios e Industriales de Importancia en el Perú. Año 2011

Cultivos	Superficie (Ha)	Rendimiento (Kg/Ha)	Producción (T)
Algodon Rama	45811	2664	122047
Arroz Cascara	359612	7298	2624458
Arverja Grano Seco	48933	993	48590
Arverja Grano Verde	27285	3697	100876
Cacao	84174	671	56499
Café	367096	903	331547
Camote	16532	18091	299080
Caña De Azúcar	80069	123455	9884936
Cañihua	6338	781	4953
Cebada Grano	148062	1359	201218
Cebolla-	19785	36746	727016
Esparrago	33144	11836	392306
Frijol Castilla	16056	1421	22817
Frijol Grano Seco	78918	1113	87853
Haba Grano Seco	52003	1243	64646
Haba Grano Verde	13339	4802	64050
Kiwicha	1796	1679	3016
Maíz Amarillo Duro	277388	4543	1260123
Maíz Amilaceo	198263	1289	255651
Maíz Choclo-	43212	8516	367994
Palma Aceitera	33324	10797	359784
Papa	296440	13738	4072455
Platano	148657	13239	1968051
Quinua	35475	1161	41182
Trigo	145484	1472	214141
Yuca	94280	11833	1115593

#### **Cuadro 2:** Serie Histórica de la Superficie Cosechada, Producción y Rendimiento de Quinua en el Perú. Periodo 1951 al 2011

FAOSTAT (2013); MINAG (2013)

Años	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (t)
1951	47200	900	42500
1961	28610	786	22494
1971	15035	426	6405
1981	18384	592	10880
1991	21007	735	15439
1992	7874	503	3960
2000	28889	976	28191
2001	25600	870	22267
2002	27852	1091	30374
2003	28326	1062	30085
2004	27676	975	26997
2005	28632	1138	32590
2006	29949	1016	30428
2007	30381	1047	31824
2008	31163	958	29867
2009	34026	1158	39397
2010	35313	1163	41079
2011	35475	1161	41182
2012	38495	1149	44210

En el Cuadro 2, se presentan datos estadísticos de superficie cultivada, rendimiento por hectárea y producción nacional a partir de 1951 al 2012. En este periodo la menor superficie sembrada corresponde al año 1992 donde se informa de 7874 ha cultivadas contrastando las 47200 has del año 1951 y los cientos de miles de hectáreas de la época del incanato. A partir de la década del 2000 se aprecia un incremento constante alcanzando el año 2012 las 38495 has (MINAG 2013; FAOSTAT 2013). Según el MINAG (2013) la superficie sembrada de quinua en las últimas nueve campañas agrícolas ha venido creciendo a una tasa promedio de 5.8% anualmente, desde la campaña 2004-2005 a la 2012-2013.

**Cuadro 3:** Distribución de Superficie de Quinua Cultivada en el Perú. Año 2011

Series Históricas- Compendio Estadístico (MINAGRI 2013)

Departamento	Producción (t)	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)
AMAZONAS	2	4	686
ANCASH	140	132	1059
APURIMAC	1262	1094	1153
AREQUIPA	1013	498	2034
AYACUCHO	1444	1952	740
CAJAMARCA	141	151	934
CUZCO	1796	1866	963
HUANCAVELICA	429	472	910
HUANUCO	293	356	824
ICA	41	18	2300
JUNIN	1448	1191	1216
LA LIBERTAD	354	328	1080
MOQUEGUA	25	35	724
PUNO	32740	27337	1198
TACNA	52	42	1238

En el Cuadro 3 se presenta la distribución del cultivo en los diferentes Departamentos del Perú para el año 2011.

Según MINAG-OEEE (2013), para el año 2012 Puno concentra alrededor del 68% de la producción nacional, seguido por Ayacucho, Cusco, Apurímac, Junín y Arequipa que suman el 27%. Señalan para la campaña agrícola 2011-2012, un crecimiento del 10.5%, con respecto a la campaña anterior. El departamento de Puno con 30,330 ha concentra la mayor superficie sembrada y un incremento de 6.9% que la anterior campaña agrícola. Continúa Ayacucho con 4,308 ha con un crecimiento de 54.2%. Cusco reporta 2,216 ha de superficie sembrada y una disminución de -3.9% con respecto a la campaña anterior. Apurímac registró 1,331 ha con un crecimiento de 1.1%, Junín sembró 1,436 ha, con un crecimiento de 18.6%. Entre estos cinco departamentos se concentra el 94.2% de toda la superficie sembrada a nivel nacional.

El rendimiento por hectárea de quinua, en el periodo 1951 a 2012 fue variable con tendencia decreciente de 900 Kg/ha el año 1951 a 426 kg/ha el año 1971. A partir

del 2000 se observa una ligera tendencia creciente y en el año 2012 se reporta un rendimiento de 1149 kg/ha (MINAG 2013; FAOSTAT 2013). Los datos del MINAG-OEEE(2013) señalan que los departamentos con mejores rendimientos son Arequipa (2,034 kg/ha), Junín (1,216 kg/ha), Puno (1,198 kg/ha), Apurímac (1,153 kg/ ha) y La Libertad (1,080 kg/ha). Para el 2012 el rendimiento promedio nacional es alrededor de 1,148 kg/ha, con una variación de -1.1% en comparación al mismo periodo del año 2011. Se destaca el rendimiento del departamento de Arequipa que es aproximadamente de 2,834 kg/ha, el mejor a nivel nacional. Los departamentos que mantienen rendimientos por encima del promedio nacional son además de Arequipa, Apurímac, Tacna, Junín, La Libertad y Ayacucho. Puno como principal productor del país mantiene rendimientos de 1,100 kg/ha (MINAG-OEEE 2013).

#### *Destino de la Producción de la quinua.*

Hace unas décadas la dieta de los productores en el Altiplano era casi totalmente compuesta de quinua. Sin embargo, en los últimos años por la creciente rentabilidad de su venta y exportación, el consumo de



la misma entre los productores ha disminuido mucho, siendo reemplazado por alimentos menos nutritivos como el arroz y el fideo.

En el Cuadro 4 se presenta la distribución de la producción nacional de quinua, donde se aprecia a nivel nacional un 12% para el consumo nacional, 47% para el comercio interno y 41% para el comercio internacional (Estrada 2012).

**Cuadro 4:** Destino de la Producción Nacional de Quinua (%) – 2011

	Auto consumo	Mercado Nacional	Mercado Exterior
Puno	15	35	50
Cusco	10	70	20
Junin	15	35	50
Ayacucho	15	60	25
Arequipa	5	35	60
Nacional	12	47	41

### Comercialización Interna.

#### *Precios en campo de Productor.*

En el año 2008 el precio promedio nacional fue de S/. 1.60 por kilo, en el año 2009 el precio se incrementa a S/. 3.36 por kilo, un alza significativa de 110%. Desde ese año la tendencia de los precios son crecientes llegando el año 2012 a S/. 3.88 por kilo, un crecimiento de 6.2% con respecto al año 2011. Los precios varían a nivel departamental, con el precio más alto en Tacna (S/.4.85), seguido por los departamentos de Ancash (S/.4.74), Moquegua (S/.4.57), La Libertad (S/.4.44), Huánuco (S/. 4.12), Junín (S/. 4.10) y Puno (S/.4.01) por kilo de quinua (MINAG 2013).

#### *Precios al Consumidor.*

Desde enero del año 1995 a febrero del año 2013 los precios al consumidor han mostrado incrementos constantes a una tasa promedio mensual de 0.5%. En enero del año 1995, el precio promedio al consumidor fue de S/. 3.19, cotizándose en febrero del año 2013 a un precio de S/. 9.87 por kilogramo (MINAG 2013). Este incremento del valor de la quinua ha alejado su consumo de la población con menos recursos económicos siendo esta la que requiere dietas de alto valor nutritivo por los altos niveles de desnutrición en poblaciones infantiles y madres gestantes.

#### *Cadena Agro productiva.*

La cadena productiva de quinua aportó al año 2012, con el 0.14% del PBI del sector agropecuario y con el 0.23% del subsector agrícola, aportando el mismo con 30.1 millones de nuevos soles, existiendo una variación positiva del 7.35% con respecto al año 2011 (MINAG-OEEE 2013).

#### *Comercio Exterior.*

La exportación ha crecido sostenidamente a partir del 2003 al 2012 (MINAG 2013). El mayor volumen exportado de quinua se registró en el año 2011 con 7,992 toneladas valoradas en 25,375 miles FOB US\$, con un crecimiento de 70.7% con respecto al año 2010. Es importante resaltar que las exportaciones han venido ascendiendo desde el año 2007 consecutivamente hasta finales del año 2011. El principal país de destino de quinua peruana es Estados Unidos, concentrando el 59.3% de las exportaciones. En el año 2011, a este mercado ingresaron alrededor de 5,011.5 t valoradas en 15,290.3 miles FOB US\$. Alemania exportó 507.6 toneladas valoradas en 2,052.6 miles FOB US\$, Israel 184 toneladas, valorizadas en 434.2 miles FOB US\$, Canadá 400.3 toneladas, valoradas en 1,366.9 miles FOB US\$ y Japón 116.5 t, valoradas en 316.7 miles FOB US\$. La exportación a estos países representa el 78.9% de la quinua comercializada en el exterior (MINAG-OEEE 2013).

**Cuadro 5:** Exportaciones de Quinua de Perú. Periodo 2003 -2012

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Millones US \$	0.4	0.4	0.7	1.5	2	5.1	7.1	13.1	25.03	30.3
Miles t	0.3	0.3	0.6	1.3	1.5	2.1	2.7	4.8	7.9	10.4

### Características del Cultivo de la quinua.

#### *Población involucrada.*

Se considera que son más de 70,000 los agricultores que siembran quinua. Mayormente son productores independientes con unidades agropecuarias menores a 3.0 ha y algunas asociaciones más organizadas con más de 100 has en los Departamentos de Junín, Puno y Ayacucho. Puno el principal productor a nivel nacional, según el Plan Operativo de la Quinua, MINCETUR 2006, estimó que existen aproximadamente 9,465 agricultores agrupados en 130 organizaciones a nivel provincial y una asociación a nivel departamental. En esta actividad se generan alrededor de 2, 659,575 de jornales, con una superficie sembrada en la última campaña agrícola 2011-2012 de 42,074 hectáreas (MINAG 2013)

#### *Zonas Agroecológicas.*

En la actualidad la quinua se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4000 m de altitud. La mayor área está ubicada ente los 2500 a los 4000 msnm, en microclimas diversos pero en general en un clima templado a frío con heladas frecuentes y con dependencia de las precipitaciones pluviales. Se consideran las siguientes zonas con marcadas diferencias:

#### *Región Suni – Altiplano.*

En esta región donde las temperaturas son más extremas, con grandes oscilaciones térmicas entre el día y la noche, se localiza el Altiplano de Puno. Ubicada en la cuenca hidrográfica del Lago Titicaca, se caracteriza por una topografía poco accidentada, una altitud sobre los 3800 msnm, variaciones climáticas en el año con temperatura media de 7.3 °C y precipitación promedio de 616 mm. Es en esta zona donde se concentra aproximadamente el 70% del área cultivada de quinua del Perú (Aguilar & Jacobsen 2003, Mujica *et al.* 2004a y 2004b; Mujica & Chura 2012).

#### *Región Quechua - Valles Interandinos.*

Ubicados en la región quechua entre los 2300 –2500 y 3500 msnm de altitud a todo lo largo del Perú. El clima es sumamente variado, desde templado a templado frío dependiendo de la altitud, latitud y época del año. Las lluvias se presentan con mayor intensidad desde octubre a mayo. En la zona sur, donde el clima es más seco con mucha diferencia de temperatura entre el día y la noche, destacan las zonas productoras de los Departamentos de Cusco y Apurímac principalmente. En la zona central, destaca el Departamento de Junín y Ayacucho. En el norte, con un clima más húmedo y con mayor número de precipitaciones, están las zonas productoras de Ancash y Cajamarca (Tejada, 1997; Tejada, 1998; Tejada 2004; Wiener 2006; Perez & Aguirre 2012).

Las condiciones para el cultivo de quinua son más óptimas a medida que la altitud disminuye, sin embargo son frecuentes los periodos de sequía o precipitaciones muy altas en diferentes etapas de desarrollo del cultivo, como las heladas y granizadas en la época de maduración del grano afectando así los rendimientos.

#### *Yunga.*

En los últimos años se inicia el cultivo de quinua en la llamada yunga marítima o zona en transición de sierra hacia la costa entre los 500 a los 2300 m de altitud. El clima es cálido moderado, ligeramente húmedo, con escasas precipitaciones estacionales de verano, y presencia del sol en gran parte del año. La quinua está siendo sembrada en las irrigaciones de San Camilo en La Joya, Santa Rita de Siguan y Majes en Arequipa; con bastante éxito (AUTODEMA, 2013).

#### *Costa.*

Se considera la zona costa entre los 0 a 500 msnm. Es una “nueva zona de cultivo” de quinua a nivel comercial, a pesar de que las investigaciones de adaptación de quinua a condiciones de Costa Central se inician desde la década de los 90 (Apaza 1995; Echegaray 2003; Tapia

2003; Mercedes 2005; Barnett 2005; Gómez & Gordon 2012) Se reportan campos en Ica, Lima, Moquegua y Tacna. El factor limitante son las altas temperaturas durante el periodo de floración a grano pastoso (Mendoza 2013).

### **Tecnología de Cultivo.**

#### *Sistema tradicional.*

Empleado en la sierra o el Altiplano y los Valles Interandinos, cada vez en menor escala y mayormente en la siembra de las quinuas amargas, este sistema está caracterizado por el uso intensivo de mano de obra desde la preparación del suelo, que se realiza con o sin ayuda de la tracción animal, hasta la cosecha, y sobre la base de una rotación de cultivos que son orientados principalmente a la subsistencia familiar.

En la zona del altiplano, el cultivo de la quinua tiene una distribución espacial y temporal en los sistemas tradicionales, con diferentes propósitos tal como asegurar la alimentación de la familia, prácticas de rotación, adecuado manejo del suelo y de las plagas, y conservación de germoplasma *in situ*; destaca en el altiplano peruano los llamados *aynokas*, *mandas* y *laymes* (Ichuta and Artiaga, 1986). En estos sistemas se preserva en forma similar a la quinua y a sus parientes silvestres. Los parientes silvestres pueden encontrarse, dentro del campo, en los bordes de los campos o en lugares sagrados (Gentil wasi o Phiru) y son cuidados por los agricultores dado su valor alimenticio, medicinal y religioso (Mujica *et al.*, 2000, Aguilar & Jacobsen, 2003; Mujica 2008; Mujica 2011).

En los valles interandinos, la quinua se siembra asociada con otros cultivos siendo muy conocida su siembra en “shaywas”. Se llama “shaywa” al surco o línea de siembra que se separa de otro u otra, por una melga de otros cultivos como maíz, frijol, haba y cucurbitáceas (“chiclayos”, “zapallos”) en las partes más bajas (Quechua Baja), o papa, haba, chocho o lupino en las partes más altas (Quechua Alta y Jalca), etc.; de tal manera que en una misma parcela se tienen varias shaywas de quinua; de este modo, el agricultor diversifica y busca seguridad en su producción, con la quinua que es apta para una diversidad de condiciones agroecológicas, soportando especialmente sequías y heladas. Una familia campesina cultivaba unos 125 metros de shaywas de quinua para obtener entre 20 y 50 kg de grano por año que se destina mayormente al auto sostenimiento familiar (Tejada 1997; 1998; 2004).

Otra denominación a este sistema de cultivo de quinua en hileras es el de takira, donde coloridas hileras de panojas de quinua se intercalan con hileras de otros cultivos. También, se informa de otras dos prácticas importantes: la cuaresma y el abonamiento orgánico mediante el uso de purines y/o estiércol de animales domésticos. Se llama cuaresma a la práctica de barbecho o remoción anticipada del suelo que se hace 2 a 4 meses antes de la siembra. De esta manera, los agricultores aran el suelo inmediatamente después de la cosecha (mayo o junio) aprovechando la humedad remanente de la época lluviosa, para dejarlo en esas condiciones hasta el inicio de la nueva campaña con la llegada de las precipitaciones (octubre o noviembre). De otro lado, el abonamiento orgánico es una práctica común de los campesinos, ya sea mediante la aplicación directa de estiércol al suelo antes de la siembra o a través del ‘majadeo’; que consiste en dejar el ganado vacuno (asnos, ovejas) atados a estaca o sueltos en corrales, desde el atardecer hasta la mañana del siguiente día (12 horas diarias), con la finalidad que depositen sus deposiciones sólidas y líquidas en la superficie del suelo, para luego ser incorporadas mediante el arado (Tejada, 1997).

El cultivo se realiza en condiciones de secano y en algunas zonas donde se dispone de agua de riego se aplica un manejo mixto lluvia y riego complementario. Respecto al manejo del cultivo, la quinua amarga sembrada en los sistemas tradicionales carece de buena atención. Generalmente, se cultiva sin abonamiento, crece en condiciones de alta población de plantas (sin raleo), y sobre todo sin deshierbo ni aporque. Sin embargo, en tales condiciones prospera y llega a producir cosecha, estimándose una productividad entre 200 y 500 g/ m<sup>2</sup> (Tejada, 2004). Este hecho se debe a dos características importantes de la quinua local: porte alto de planta (2 m) que le confiere capacidad de competencia ante malezas y otros cultivos, y su largo período vegetativo (6 y 7 meses) que le permite vegetar y absorber nutrientes por mayor tiempo.

Por otro lado en la última década los monocultivos se han generalizado ya sea por intervención del estado, organismos no gubernamentales y empresas comercializadoras, por lo tanto se observa un menor número de familias que cultivan quinua en sistemas agrícolas tradicionales.

#### *Sistema Moderno.*

En irrigaciones de las yungas, la tecnología aplicada es

alta e intensiva. La preparación de suelo se hace con maquinaria agrícola, riego tecnificado y alto uso de insumos. Se aplican de 20 a 30 t de abono orgánico de gallinaza antes de la siembra, complementado con la aplicación de 300 kg/ha de nitrógeno, 120 kg/ha de  $P_2O_5$ , 300 kg/ha  $K_2O$ , 40 kg/ha de Ca, 20 kg/ha de Mg y 1.5 kg/ha de Zinc a través del sistema de irrigación. Control fitosanitario de podredumbre radicular y control preventivo de mildiu, mediante la aplicación de fungicidas desde los 20 días de emergido el cultivo, en cuatro fechas de aplicación cada 10 días. El control de insectos también es químico, dependiendo de la incidencia y del tipo de insecto. Este paquete productivo de un valor de US\$ 5500 permite producir de 4000 a 7000 kg/ha (AUTODEMA, 2013). Los precios de quinua en campo, en la campaña 2012-2013, fluctúan entre US\$ 3 a 4, dando una ganancia muy significativa al agricultor de ciertas regiones.

En la costa el cultivo se realiza en forma similar con alta tecnología, con sistemas de ferti- irrigación que están influyendo favorablemente en la expresión del potencial de rendimiento de las variedades de quinua que en algunos campos llegan a alcanzar más de 4000 kg/ha; en Piura, Lima, Ica y la zona de costa de Arequipa.

#### *Variedades.*

En el Cuadro 6 se presenta la relación de las variedades comerciales más empleadas, con algunas características agronómicas, de calidad y rango de adaptación. Las variedades son quinuas clasificadas dentro de los ecotipos Altiplano y de Valle.



**Cuadro 6:** Variedades Comerciales de Importancia en Perú

Fuente INIA, Díptico N° 1 Abril, 2013

VARIEDADES COMERCIALES	Año Liberación	RENDIMIENTO POTENCIAL Kg/ Ha		Contenido Saponina	Contenido Proteína	Adaptación msnm
			Grano Color			
Kanccolla		3500	Blanco o rosado	Amarga		Altiplano
Blanca de July		2500	Blanco	Semi dulce		Altiplano
Witulla		1200 -1800	Negro			Altiplano
Sajama		3000	Blanco y grande	Dulce		Altiplano
Chewecca		3000	Blanco pequeño			Altiplano
Amarilla Maranganí		3500	Anaranjado	Amarga		Cusco Valles
Blanca de Junín		2000 -2800	Blanco	Semi dulce		Interandinos
Blanca de Hualhuas		2500	Blanco	Semi dulce		Valles Interandinos
Rosada						Valles
Huancayo		3000	Blanco	Semi dulce		Interandinos
Quillahuamán						
INIA	1990	3500	Blanco-crema	Bajo		0 -3500
Salcedo INIA	1995	Bueno	Blanco y grande	Dulce (0.014%)	14.50%	Valles y Costa
Illpa INIA	1997	3100	Blanco y grande	Dulce (0.02%)	16.14%	
INIA						Altiplano y
415-Pasankalla	2006	4500	Vino oscuro	Dulce	17.40%	Costa
INIA 420-Negra				Dulce		
Ccollana	2008	Bueno	Negro	(0.015%)	17.85%	
INIA 427 -			Amarillo			Valle
Amarilla Sacaca	2011	3500	anaranjado y grande	Alto	14.83%	Interandino
INIA 431 -			Blanco y			
Altiplano	2013	Bueno	grande	Dulce	16.90%	Costa y Sierra

Las variedades de origen altiplánico en su mayoría son selecciones masales de razas nativas de quinua de los grupos denominados: kancollas, qoytos, chullpis, misas, witullas, pasankallas, cuchiwilas, chewecas, chauchas, antahuaras, hanqo jiuras, aaras/ajaras, etc.; las cuales se caracterizan por su tolerancia a factores adversos de clima y suelo y con rendimientos promedio de 1,200 Kg/ha. Las variedades comerciales seleccionadas del ecotipo del altiplano se adaptan bien al medio ambiente de las yungas y la costa (Mendoza, 2013), con altos rendimientos entre 4000 a 6000 kg/ha. En

cambio en los valles interandinos, las variedades del altiplano (Salcedo- INIA, INIA- 415 Pasankalla, INIA- 420 Negra Collana) no son muy recomendadas por su menor rendimiento, su excesiva precocidad que lleva a una maduración en épocas todavía con lluvias, su limitada competencia con las malezas debido a la reducción significativa de la altura de planta y a su alta susceptibilidad al mildiu.

Las variedades de los valles interandinos son:

*Amarilla de Maranganí y Amarilla Sacaca* variedades

representativas del Valle sagrado de los Incas (Vilcanota)- Cusco; las variedades *Mantaro*, *Blanca de Junín*, *Blanca de Hualhuas* y *Rosada de Junín* del Valle del Mantaro- Junín; *Amozulca* y *Namora* del Valle de Cajabamba- Cajamarca; *Acostambo* del Valle de Acobamba- Huancavelica; *Amarilla de Ancash* y *Blanca* del Valle del Callejón de Huaylas- Huaraz; *Roja Ayacuchana* de Ayacucho, *Blanca* de la Zona del Callejón de Conchucos y La Libertad; entre otras. Los rendimientos oscilan entre 2500- 5000 Kg/ha.

Las quinuas pertenecientes al ecotipo valle se comportan muy bien a lo largo de los valles interandinos de la sierra peruana. Las variedades y cultivares dulces y semidulces de quinua procedentes del centro y sur del país introducidas al norte han mostrado buen comportamiento; destacando, las variedades “Mantaro” en la región Cajamarca y “Blanca Pindila” en La Libertad. Otras variedades con buena adaptación son la Amarilla de Maranganí, Blanca de Hualhuas y la Rosada de Huancayo. Sin embargo, no se adaptan en general a condiciones de costa debido a que muestran menor tolerancia a temperaturas altas en la etapa de floración, excesiva altura de planta y ciclo largo de vida principalmente.

#### **Factores Limitantes del Cultivo de Quinua.**

##### *Bióticos.*

##### *Enfermedades:*

Enfermedades foliares fungosas, donde destaca como enfermedad clave, el mildiu (*Peronospora variabilis*), enfermedad predominante en todas las zonas cultivadas de quinua en el Perú y que afecta la quinua en cualquier estado fenológico. Otras enfermedades secundarias reportadas con más frecuencia son la mancha foliar (*Ascochyta hyalospora*), cercosporiosis (*Cercospora* sp) y puntos foliares causadas por *Macrophoma* sp.

Entre las enfermedades del tallo destaca también como enfermedad clave la podredumbre marrón del tallo (*Phoma exigua* var. *foveata*). Otras enfermedades secundarias del tallo son la mancha ojival del tallo (*Phoma* sp) y la esclerotiniosis (*Esclerotium* sp).

En enfermedades de las raíces, es común la chupadera o mal de almacigo (*Rizoctonia solani*) y en algunas áreas se observa la presencia de podredumbre radicular causada por un complejo de hongos de suelo (*Fusarium oxysporium*, *Phytlum*).

Entre las enfermedades causada por virus se informa la enfermedad del mosaico causada por el virus *Sowbane*

*mosaic sobemovirus* y de bacteria la mancha bacteriana (*Pseudomonas*)

##### *Insectos*

En el Altiplano.

Se informa la presencia de gusanos de tierra como cortadores de plantas tiernas: *Feltia experta* (tikuchi), *Spodoptera* sp, *Copitasia turbata* (panojero) y *Agrotis ipsilon* (silwi kuru). Como insectos de follaje y granos: *Eurisacca melanocapta*, *Liriomiza braziliensis*, *Liriomyza huidobrensis*, *Hymenia recurvalis*, *Pachyzancla bipunctalis* (polilla de quinua), *Perisoma sordescens* (medidores ó cuarta cuarta), *Epicaula willei*, *Epicaula latitarsis* (padre kuru” ó Quito “chhallu chhallu) *Epitrix subcrinita* (piki piki ó pulguilla saltona), *Mysus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Frankinellia turberosi* (llawa ó kondorillo), *Borogonalia* sp.(cigarritas) *Bergallia* sp.(cigarritas), *Paratanus* sp. (cigarritas), *Perizoma sordescens*.

En la Costa

Gusanos de tierra (*Feltia experta*, *Agrotis ypsilon*, *Elasmopalpus lignosellus*), gallinita ciega (*Botinus maimon*). Como insectos de follaje: mosca *Delia* (*Delia* sp.), pulgones (*Mysus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Aphis gossipii*), gusano de hojas y panoja (*Eurisacca quinoa*).

En los Valles Interandinos.

Gusanos de Tierra (*Copitarsia turbata*, *Agrotis* sp), gusanos de follaje (*Scoteoborus*, *Adioristhu*, *Epicaula latitarsis*), gusano de hojas y granos (*Eurisacca melanocapta*), *Astillus* sp. (escarabajo de las panojas y escarabajo negro, acchu.)

##### *Nematodos*

En el Perú se reporta la presencia de nematodos para quinua, principalmente: *Nacobbus aberrans*, *Globodera pallida* y *Tecca vermiculatus*

##### *Vertebrados.*

Las aves silvestres solas, en pequeños grupos o en grandes bandadas también compiten con el hombre andino por alimento para sobrevivir, las más importantes son: palomas porque estas rompen las panojas y tallos. La incidencia es muy alta en condiciones de costa.

Las pérdidas atribuidas al ataque de pájaros pueden alcanzar de 30 a 40% en las variedades dulces como “Sajama”, “Chewecca” y “Blanca de Juli”. Aquellas variedades con panojas compactas son menos atacadas

por que las semillas están menos expuestas

## Bibliografía

Aguilar P & SE Jacobsen. (2003). Cultivation of Quinoa on the Peruvian Altiplano. *Food Reviews International*. New York. Vol. 19, N°. 1 y 2:31 – 41.

Aldenderfer MS (1998). The Archaic Period in the South-Central Andes. *Journal of World Prehistory* 3(2): 117-158

Apaza W. 1995. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo "Efectos de densidad y niveles de fertilidad en el rendimiento de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Costa Central. UNALM. Lima, Perú. 112 p.

AUTODEMA (2013). Manual Cultivo de Quinoa. Gobierno Regional de Arequipa. Autoridad Autónoma de Majes. [www.autodema.gob.pe](http://www.autodema.gob.pe).

Barnett AM (2005). Efectos de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de 3 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo riego por goteo. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima – Perú. 138 p.

Echegaray, T. 2003. Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo "Evaluación de Métodos de Cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones de costa". UNALM. Lima – Perú. 105p.

Eisentraut P. (1998) Macrobotanical Remains from Southern Peru: A comparison of Late Archaic-Early Formative Period Sites from the Puna and Suni Zones of the Western Titicaca Basin. Unpublished Ph.D. dissertation, Department of Anthropology, University of California, Santa Barbara.

Estrada R. (2012). Importancia del Cultivo de Quinoa Hacia el Año Internacional 2013. MINISTERIO DE AGRICULTURA Instituto Nacional de Innovación Agraria VIDEOCONFERENCIA Cusco 25 de octubre del 2012.

FAOSTAT (2013). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/>

Gómez L & A Gordon (2012). Sistemas de cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su efecto en el rendimiento y calidad en condiciones de verano en La Molina. *Revista Agroenfoque* Año XXVIII - N° 185.

Ichuta F & E Artiaga (1986). Relación de géneros en la producción y en la Organización Social en Comunidades de Apharuni, Totoruma, Yauricani-Ilave. Informe para optar el grado de Bachiller en Trabajo Social. Puno, Perú. pp. 15-17.

Lumbreras, L.G.; Kaulicke, P.; Santillana, J.I.; Espinoza, W. (2008). Economía Prehispanica (Tomo 1). In *Compendio de Historia Económica del Perú*. Ed. Carlos Contreras. Banco Central de Reserva del Perú. IEP. Instituto de Estudios Peruanos. pp 53-77.

MINAG-OEEE (2013). Quinoa. Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva.

MINAG. (2013). (Ministerio de agricultura – Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos. Direcciones Regionales y Subregionales de Agricultura.) <http://www.minag.gob.pe/portal/herramientas/estadisticas/dinamica-agropecuaria>

Mendoza V (2013). Comparativo de Acciones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de Costa Central. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria La Molina. 138 p.

Mercedes, W. (2005). Efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en la especialidad de producción agrícola. Escuela de Post grado. UNALM. Lima, Perú. 72 p.

Mujica, A.; Jacobsen, S.E. (2000). Agrobiodiversidad de las Aynokas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y la seguridad alimentaria. En: C. Felipe-Morales & A. Manrique (eds.). Proc. Seminario Taller Agrobiodiversidad en la Región Andina y Amazónica. 23-25 noviembre. 1988:151-156, NGO- CGIAR, Lima.

MINCETUR (2006). [www.mincetur.gob.pe/newweb/portals/0/POI\\_2012.pdf](http://www.mincetur.gob.pe/newweb/portals/0/POI_2012.pdf)

Mujica, A; S Jacobsen S; H Mujica; J Gorham; R Ortiz & M Pocco (2004a). Selección de Genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) por su resistencia a salinidad en Arequipa, Perú. En: XI Congreso Internacional de cultivos andinos. Libro de Resúmenes. Cochabamba, Bolivia. 26 p.

Mujica, A; J Izquierdo; JP Marathe & S Jacobsen (2004b). Libro Quinoa: Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO, CIP, UNA. Puno, Perú. 320 p.

Mujica A. (2008). Diversidad, variabilidad y conocimientos tradicionales locales. En: Memorias. Jornadas Iberoamericanas sobre etnobotánica y desarrollo local: Antigua, Guatemala. 25-29 Agosto 2008. Antigua, Guatemala: 34-45.

- Mujica A (2011). Conocimientos y prácticas tradicionales indígenas en los andes para la adaptación y disminución de los impactos del cambio climático. En: Compilación de resúmenes del Workshop Internacional Pueblos indígenas, poblaciones marginadas y cambio climático: Vulnerabilidad, adaptación y conocimientos indígenas. IPMPCC. México, México.: 62-63.
- Mujica A (2012). Sistemas andinos de producción agrícola sustentable en el Perú y Agrobiodiversidad Andina para adaptación al cambio climático y seguridad alimentaria. En: Resúmenes Simposio Internacional: Desarrollo Tecnológico y apertura de nuevos mercados para la agricultura. 20-22 junio 2012. Cámara de Agricultura de la I Zona del Ecuador y Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.: 123-128.
- Mujica A & E Chura (2012). Cultivo de Granos Andinos y Cereales. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Oficina Universitaria de Investigación. Editorial Universitaria. Puno, Perú. 368 p.
- Murray A (2005). *Chenopodium domestication in the South –Central Andes: Confirming the presence of domesticates at Jiskairumoko (Late Archaic-Formative), Peru*. Thesis. California State University, Fullerton. UMI Number: 1428086.98 p.
- National Research Council (1989). *Lost crops of the Incas*. Washington, DC: National Academy Press, 414 p.
- Nordstrom C (1990). Evidence for the Domestication of *Chenopodium* in the Andes. Informe presentado a la National Science Foundation. University of California, Berkeley Paleoethnobotany Laboratory. Reports No. 19.
- Pearsall D (1992). The origins of Plant Cultivation in South America. In the *Origins of Agriculture: An international Perspective*, edited by W. Wesley Cowan and Patty Jo Watson.: 173 -205. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Perez A & C Aguirre (2012). Manejo y adaptabilidad del Cultivo de la Quinua en la Sierra Central del Perú. Huancayo, Perú.
- Rigsby CA, PA Baker & MS Aldenderfer (2003). Fluvial History of the Rio Ilave Valley, Peru, and its Relationship to Climate and Human History. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 194: 165 -185.
- Smith BD (1992). *Rivers of Change: Essays on Early Agriculture in Eastern North America*. Smithsonian Institution, Washington.
- Tapia M (1979). Historia y distribución geográfica. In M.E. Tapia (ed.). *Quinua y Kaniwa. Cultivos Andinos*, M. Tapia, H. Gandarillas; S. Alandia, A. Cardozo, A. Mujica, R. Ortiz, V. Otazu, J. Rea, B. Salas y E. Zanabria (autores). Centro Internacional para el Desarrollo, Bogotá, Colombia.: 11-19.
- Tapia F (2003). Tesis para optar el grado de Magister Scientiae "Influencia de dos tecnologías de cultivo en la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Costa." UNALM. Lima – Perú. 113 p.
- Tejada T (1997). Evaluación de un Predio Agrícola Integral de Bajos Insumos Externos. Tesis de Maestría en Ciencias, Recursos Naturales, Línea Recursos Vegetales. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú. 179 p.
- Tejada T (1998). Informe Experimentos Concluidos, Programa Nacional de Investigación en Cultivos Andinos. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Estación Experimental Baños del Inca. Cajamarca, Perú. 25 p.
- Tejada T (2004). El cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Serie Manual Técnico. Municipalidad Provincial de Cajamarca, MINAG, INIA. Cajamarca, Perú. 60 p
- Uhle M (1919). La arqueología de Arica y Tocta. Sociedad Ecuatoriana de Estudios Históricos A3, Quito: 1-48.
- Wiener H (2006). Ayacucho, la Sierra y el Sector Agrario. Centro de desarrollo Agropecuario. Ayacucho, Perú.



## CAPÍTULO 5.3.

## TÍTULO: LA QUINUA EN ECUADOR

\*Autor para correspondencia: Eduardo PERALTA I. <[peraltaedu55@gmail.com](mailto:peraltaedu55@gmail.com)>

**Autores:**

EDUARDO PERALTA I.\*<sup>a</sup>, INIAP; NELSON MAZÓN O<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Estación Experimental Santa Catalina, km 1, Panamericana Sur, Quito, Ecuador.

**Resumen**

Históricamente Ecuador es el tercer país en realizar actividades de investigación y desarrollo para el rescate, promoción y uso de la quinua en la zona andina, de manera sistemática y dinámica (1982); 30 años aproximadamente después de que inició Bolivia y Perú. Para este objeto se contó con el apoyo del INIAP, de la FAO, IBPGR y el Gobierno de Canadá (CIID).

Se inició con la recolección del germoplasma a nivel nacional, el intercambio con otros países y la formación del Banco Nacional de Germoplasma de Cultivos Andinos del Ecuador, en custodia del INIAP. Después de la caracterización, documentación y evaluación del germoplasma, se realizó mejoramiento por selección y se liberaron las dos primeras variedades de alto rendimiento pero de grano amargo, con las cuales se inició la promoción del cultivo y consumo. A la vez se realizó un diagnóstico de la situación agro socio económica del cultivo en el país (línea base) y se generó tecnologías para el manejo agronómico, de cosecha y poscosecha. Para este periodo se estimaban de 1000 a 1200 ha de cultivo en la sierra centro-norte del país, en el sur se consideró desaparecida. En 1992, se liberaron las primeras variedades “dulces” es decir de bajo contenido de saponina, con el objeto de reducir el uso de agua, tiempo de lavado y de incrementar el consumo en las ciudades.

A partir del año 2000, se retomó la investigación de la quinua en el Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos de la Estación experimental Santa Catalina. Se liberó una nueva variedad precoz, más tolerante al frío y baja en contenido de saponina. Se impulsó la investigación y desarrollo en cosecha, poscosecha y la agroindustria. Paralelamente, algunas universidades contribuyeron al conocimiento a través de las tesis de pregrado y la empresa privada fue creciendo e incrementándose en número de actores. Para el 2013, se evidencian dos enfoques de producción orgánico certificado y agroecológico (convencional) y se estiman que juntos suman alrededor de 2000 ha cultivadas por año. La mayor parte de esta producción es para exportación a los EEUU y Europa. El consumo nacional es muy bajo aún y el Gobierno Nacional se interesa y apoya su consumo a través de los programas de alimentación, principalmente infantil. Se puede asegurar que la producción de quinua en Ecuador es más sostenible, debido a la posibilidad de una mayor oportunidad de rotaciones con otros cultivos como papa, maíz, maíz-fréjol, arveja, hortalizas, pastos, en un rango de altitud entre 2400 y 3600 m.s.n.m.

**Introducción.**

Por alrededor de 7000 años la quinua ha sido cultivada en la región andina donde ha sido apreciada por su valor nutritivo y adaptabilidad a condiciones ambientales difíciles. En Ecuador,

el cultivo de la quinua ha sido considerado secundario, no sólo por la escasa superficie sembrada, sino por su bajo consumo per cápita (Jacobsen y Sherwood, 2002).

Pulgar Vidal (1954; citado por Tapia, 1979) cree que los Chibchas y otras tribus de la meseta Cundi-boyacense (Colombia) cultivaron intensamente la quinua y sugiere también que los antiguos habitantes de Cuyumbe (Huila, Colombia) ayudaron a la dispersión de la quinua hacia el sur de la actual Colombia, lo cual explicaría su distribución en Ecuador.

Sin embargo, Estrella (1998), basado en algunos documentos históricos, sostiene que por sus cualidades alimenticias y medicinales, la quinua fue un alimento muy apreciado por las poblaciones aborígenes de Ecuador. Por ejemplo; Cieza en su recorrido por la Sierra en 1548 encontró evidencias del cultivo y del valor que tenía en la alimentación de la población; los Cañaris cultivaban la quinua antes de la llegada de los españoles y a fines del siglo XVI seguía siendo uno de los alimentos preferidos; en el Mandamiento de Tambo (Actas de Cabildos, 1934) emitido por el Cabildo de Quito en 1549, aparece la quinua entre los alimentos que los tamberos debían vender a los viajeros; el historiador Padre Juan de Velasco, en el siglo XVIII distingue dos tipos de quinua, la blanca que se cultiva en sementeras grandes y se come como el arroz, y la colorada, cuyo único uso es comerlo tostado porque revienta, se esponja mucho y es de bello gusto.

Tapia (1979), citando a Cardozo (1976) y Romero (1976), indica que en Ecuador la quinua ha persistido entre los campesinos de las provincias Carchi, Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Loja. Señala también que estas quinuas son de grano chico, en general de porte elevado y de grano muy amargo. Para esos años se calculaba, para todo el país, una superficie cultivada de 1200 ha.

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en 1967, informa de la creación del Programa de Introducción de Nuevos Cultivos Económicos de la Sierra. Los trabajos de observación y adaptación se encaminaron a encontrar nuevas fuentes de proteína para alimentación humana y animal. Además del trabajo en colza aceitera y *Lupinus mutabilis*, se

inició también trabajos de colección y observación de cultivos autóctonos como quinua, melloco y oca. Este trabajo concluyó en 1970 en la Estación Experimental Santa Catalina.

García (1984), como parte de su Tesis de Grado, en ocho provincias de la sierra ecuatoriana, realizó un diagnóstico del cultivo de la quinua. Los principales hallazgos fueron los siguientes:

La mayoría de los productores de quinua son minifundistas, cuya condición les obliga a buscar otras fuentes de ingreso para poder subsistir, ya que aquellos provenientes de la agricultura no son suficientes para satisfacer sus mínimas necesidades.

Generalmente la quinua está sembrada en sistemas de policultivos y en muy pocas ocasiones se encuentra como monocultivo. Las asociaciones más frecuentes son con maíz, con papa, oca y melloco. Con respecto a rotaciones de cultivos, muy pocos lo practican.

La época de siembra difiere de acuerdo con la zona y está relacionada con la época lluviosa. En el norte comprende los meses de junio-julio, en el centro y sur entre los meses de octubre y noviembre, y la cosecha se realiza a los 7-8 meses después de la siembra por tratarse de cultivares tardíos.

Las labores culturales como deshierba, aporque, raleo, fertilización y riego no son realizados para el cultivo, pero se beneficia indirectamente cuando estos son aplicados al cultivo principal. No efectúan ningún control de plagas y/o enfermedades.

Los rendimientos a nivel de productor van de 300 a 1000 kg/ha. La totalidad de la producción se destina únicamente al autoconsumo y en raras ocasiones intercambian o venden en los mercados.

Los servicios institucionales y de ayuda crediticia están totalmente ausentes, por consiguiente, el agricultor no recibe información sobre el valor agronómico y nutricional de esta planta.

El consumo de quinua se encuentra limitado, por el desconocimiento de las buenas cualidades nutritivas. Otro obstáculo constituye el lavado que se necesita para que el grano pueda ser consumido.

Desde inicios de la década de los 80, hasta finales de los años 90; con el apoyo, principalmente de la cooperación internacional y con el asesoramiento

de científicos bolivianos; en Ecuador, el INIAP, conjuntamente con algunas Universidades y empresas privadas, logran importantes resultados relacionados con la investigación, producción y promoción del consumo de la quinua. En este período se conforma el banco nacional de germoplasma; se liberan cuatro variedades mejoradas (por selección); se desarrollan alternativas tecnológicas para el manejo, cosecha y poscosecha del cultivo; se realizan estudios bromatológicos y de aplicación agroindustrial; se desarrollan diferentes formas de preparación y consumo; y se plasman algunas iniciativas privadas (con pequeños y grandes productores) para la producción y comercialización, enfocadas en el mercado nacional e internacional.

Desde el año 2001, con el apoyo de la cooperación internacional (PREDUZA, IFAD/IPGRI, Fundación McKnight) y en los últimos años, también con fondos estatales, se retoma la investigación y el desarrollo de la quinua y los otros granos andinos. A través de procesos participativos se libera una nueva variedad de quinua y se inicia el proceso de mejoramiento genético por hibridación de la quinua (con el asesoramiento de PROINPA, Bolivia), contando actualmente con líneas  $F_6$  y poblaciones segregantes en diferentes filiales. En este período se ha impulsado la multiplicación de semilla seleccionada de buena calidad con organizaciones de productores de la agricultura familiar campesina, se han realizado demostraciones del uso de máquinas para la trilla y se han realizado múltiples actividades para promocionar el valor nutritivo y la diversificación del consumo de la quinua y de los otros granos andinos. El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), con el apoyo de la FAO, ha ejecutado en los últimos años proyectos de fomento de la producción de la quinua en diferentes zonas del país.

En el marco del Año Internacional de la Quinua, en Ecuador se realizó el IV Congreso Mundial de la Quinua y I Simposio Internacional de los Granos Andinos. En este contexto, el MAGAP está implementando un Programa de Fomento del cultivo de la quinua, que entre otros aspectos incluye la ampliación del área sembrada, mejoramiento de la productividad, la promoción del uso de semilla certificada (se cuenta con la normativa para la certificación de la semilla de

quinua), fortalecimiento organizacional de los productores, incentivos a la producción (subsidio a través de insumos, capacitación, maquinaria), asistencia técnica, acopio y comercialización, etc.

### **Investigación de la quinua en Ecuador.**

#### *Los primeros pasos hasta finales de los 90.*

En 1967, el INIAP crea el Programa de Introducción de Nuevos Cultivos Económicos de la Sierra; encaminado a encontrar nuevas fuentes de proteína para alimentación humana y animal, incluyendo trabajos de colección y observación de cultivos autóctonos como quinua, melloco y oca. Esta iniciativa concluyó en 1970.

En la década de los años setenta y ochenta, en la Universidad Central, Escuela Politécnica de Chimborazo y la Universidad Técnica de Ambato se realizan algunas tesis relacionadas con el cultivo, agroindustria y uso de la quinua (Peralta y Vicuña, 1981; García, 1984). En 1982, se incluye a la quinua en los contenidos de la Cátedra de Cultivos de la Sierra en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central.

Un hito importante, en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, es la creación de las Secciones de Cultivos Andinos y Recursos Fitogenéticos (1982), ligadas al Programa de Cereales. La quinua forma parte del grupo de cultivos y alimentos de origen andino olvidados o subutilizados y en vías de extinción en Ecuador. Se inició la conformación de la colección de quinua, recolectando 271 accesiones en todas las provincias de la sierra, la cual en 1985 creció a 334 entradas. Paralelamente se inició el fitomejoramiento por selección. Aquí fue clave el rol de los investigadores Carlos Nieto, Eduardo Peralta, Raúl Castillo, Jaime Tola, Alberto Ortega y el boliviano Julio Rea. En 1986 se crea el Programa de Cultivos Andinos.

A más de la conformación del banco de germoplasma, se publica una guía para el manejo y preservación de los recursos fitogenéticos (Nieto *et al*, 1983) y se identifican y caracterizan las seis razas de quinua del Ecuador (Gandarillas *et al*, 1989).

Actualmente, el Banco de Germoplasma del Ecuador, en custodia en el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos del INIAP en la Estación

Experimental Santa Catalina, está integrado por 608 colecciones, de las cuales 283 fueron colectadas en Ecuador en la década de los años ochenta y 325 provienen de los países andinos y otros donantes (Mazón *et ál*, 2002).

En la década de los años 80, el INIAP libera las primeras variedades mejoradas de quinua de grano amargo, obtenidas por selección: INIAP Cochasquí e INIAP Imbaya (Nieto *et ál*, 1986).

En esta década se dictan los primeros cursos sobre el cultivo de la quinua. En 1984 se dicta un curso a líderes campesinos de la sierra y en 1985 se organiza un curso a técnicos, con el apoyo del Ing. Humberto Gandarillas de Bolivia. En 1987, el Programa de Cultivos Andinos del INIAP, publica las Memorias de la Reunión Nacional sobre producción, uso y comercialización del cultivo de la quinua.

En los años 80 también se promueve al consumo de la quinua. En 1984 el INIAP gana el Primer Premio en el concurso de Comida Costumbrista, organizado por el Municipio de Quito y el Banco Central del Ecuador, al presentar 16 platos diferentes a base de quinua (Eduardo Peralta y Roxana Terceros). En base a esta experiencia se publica el primer recetario de quinua en Ecuador “La Quinua...un gran alimento y su utilización” (Peralta, 1985).

En 1988, el Instituto Ecuatoriano de Normalización publica las siguientes normas de calidad: INEN 1671 para la determinación de impurezas y nivel de infestación en grano de quinua no procesado; INEN 1672 para la determinación del contenido de saponinas por el método espumoso; e INEN 1673 en la que se establecen los requisitos que debe cumplir el grano de quinua. Carlos Nieto del INIAP, actúa como Vicepresidente del Subcomité Técnico.

A mediados y a finales de los 80 se realizan esfuerzos para organizar la producción de la quinua en Ecuador. En 1986, se crea la Asociación de Productores de Quinua (PROQUINUA), la cual termina en pocos años, con relativo éxito. En 1988, las Escuelas Radiofónicas Populares del Ecuador (ahora Fundación ERPE) en la provincia Chimborazo inicia actividades de producción agroecológica, evolucionando en 1997 a la producción de quinua orgánica con pequeños productores. En 1989, se crea la Empresa INAGROFA para la producción y

comercialización de quinua, la cual se mantiene en vigencia hasta la actualidad.

Con relación a la experiencia de Fundación ERPE, el diario El Comercio de Quito, en su sección Agromar, el 21 de julio de 2012 escribe: en Chimborazo la quinua se diversifica para hallar mercados. Señalan que hace 15 años la quinua no era apetecida en las zonas rurales y urbanas de Chimborazo. Que el cambio empezó en el año 2000, cuando los productores de 90 comunas de Colta, Guamote, Alausí y Riobamba decidieron unirse para impulsar este producto andino con el apoyo de la Fundación Escuelas Radiofónicas Populares del Ecuador (ERPE). Empezaron con 200 familias productoras y 100 ha de cultivo; en el 2003 eran 900 grupos familiares y 430 ha. Hoy 1700 familias siembran de manera orgánica, 700 ha. Consumen, agro industrializan y exportan 400 toneladas por año a Europa y EEUU.

En la década de los años 90 se continúa con la promoción del consumo de la quinua. El Programa de Cultivos Andinos del INIAP, publica un recetario compilado con 92 recetas de quinua (Muñoz *et ál*, 1990). En este mismo año Latinreco de la NESTLÉ publica un libro los resultados de los cinco años de experiencia con el cultivo y procesamiento de la quinua en Ecuador (Whali, 1990).

En 1992 se liberan las variedades INIAP Tunkahuan e INIAP Ingapirca de bajo contenido de saponina (Nieto *et ál*, 1992) y se publican las experiencias en Ecuador sobre cosecha y pos cosecha de quinua (Nieto y Vimos, 1992).

De las cuatro variedades de quinua liberadas en esta etapa, solo la variedad INIAP Tunkahuan sigue vigente. La variedad INIAP Tunkahuan es de origen ecuatoriano (Imágenes 1 y 2), colectada en la provincia del Carchi en 1985. Es una variedad de valles, semiprecoz (150 a 210 días), que se adapta entre 2200 a 3200 m s.n.m.; con una altura de planta entre 90 y 180 cm, de color verde cuando joven y rosado-amarillo a la cosecha; el grano es de color blanco opaco, de tamaño mediano, de forma redonda y aplanado, de bajo contenido de saponina (0,06%). El rendimiento varía entre 1,5 a 3 t/ha (Nieto *et ál*, 1992; Peralta, 2010).





**Imagen 1.** Cultivo de la variedad de quinua INIAP Tunkahuan.



**Imagen 2.** Semilla de la variedad de quinua INIAP Tunkahuan.

En 1996, el Ministerio de Agricultura y Ganadería publica la Zonificación Potencial de la quinua en Ecuador y establece 86.856 ha sin limitaciones de clima y suelo para el cultivo (Yugcha, 1998).

Esta etapa se concluye en 1997 con el cierre del Programa de Cultivos Andinos, pasando la responsabilidad del rubro quinua al Programa de Cereales. En 1998, el Ecuador aportó con dos cultivares (INIAP Ingapirca y ECU 420) al listado de 25 materiales que integraron la Prueba Americana y Europea de la Quinua, propiciada por la FAO, UNA-Puno y CIP-DANIDA-UNAP.

### *La investigación de la quinua en el nuevo milenio.*

Frente a la demanda de instituciones nacionales e internacionales, en el 2000, el INIAP retoma la investigación de la quinua en el Programa de Leguminosas y Granos Andinos (PRONALEG-GA) bajo el liderazgo de Eduardo Peralta.

Con el fin de identificar accesiones de quinua con características morfológicas (tipo de planta, color de planta y panoja) y agronómicas (precocidad, resistentes a mildiu, buena calidad de grano, alto potencial de rendimiento) que respondan a las expectativas de los productores y consumidores se caracterizó la colección de quinua del INIAP. En base a este trabajo se publica el Catálogo del Banco de Germoplasma de quinua del INIAP (Mazón *et ál*, 2002).

Con los materiales seleccionados del banco de germoplasma se inicia un proceso de evaluación y selección participativa de líneas de quinua en condiciones de Estación Experimental y con agricultores en diferentes zonas productoras de quinua de la sierra de Ecuador. Para esta actividad se contó con el apoyo de la cooperación internacional (PREDUZA, FAO, IFAD/IPGRI, CIAT) y participaron estudiantes realizando Tesis de pre y posgrado (Jácome, 2002; Guambuguete y Purcachi, 2003; McElhinny *et ál*, 2007).

Como resultado de este proceso, se libera la variedad INIAP Pata de Venado, la cual es de origen boliviano (IBTA, E.E. Patacamaya, 1983, intercambio de germoplasma) (Imágenes 3 y 4), precoz (150 a 180 días), que se adapta de 3000 a 3600 m s.n.m. (es decir, para zonas altas y frías); con una altura de planta de 90 a 100 cm, de color verde cuando joven y rosada a la cosecha; el grano es de color crema, de tamaño mediano, de forma redonda y aplanado, de bajo contenido de saponina (0,05%). El rendimiento promedio está en 1,2 t/ha (Mazón *et ál*, 2007).



**Imagen 3.** Cosecha de la variedad de quinua INIAP Pata de Venado.



**Imagen 4.** Semilla de la variedad de quinua INIAP Pata de Venado.

Por el método de selección, no se ha logrado obtener variedades de quinua con grano de tamaño grande, con mejores niveles de resistencia a mildiu, etc.; por esta razón, en el 2008, con el apoyo de la Fundación McKnight (EEUU) y el asesoramiento del PROINPA de Bolivia, el PRONALEG-GA del INIAP inicia un programa de mejoramiento de quinua por hibridación, siendo los principales objetivos desarrollar nuevas variedades de quinua precoces, con tamaño grande del grano, resistencia a enfermedades foliares causada por hongos, alto potencial de rendimiento, con adaptación a condiciones marginales de clima y suelo y con aceptación de los agricultores y en los

mercados. En el 2013 se disponen de líneas  $F_6$  y con poblaciones segregantes en diferentes filiales.

Para que los interesados en producir quinua y los granos andinos en general, conozcan las alternativas para el manejo de los cultivos, el INIAP publicó el Manual Agrícola de Granos Andinos (Peralta *et ál*, 2012), así como el catálogo de variedades de granos andinos (Peralta *et ál*, 2013). En este mismo sentido, la Fundación ERPE publica el Manual de Quinua Orgánica (Raffauf, 2000).

En este período se promueve, con organizaciones de productores de la agricultura familiar campesina, la producción de semilla seleccionada de buena calidad, en sistemas no convencionales. Uno de los resultados es la publicación de una guía para la producción y distribución de semilla de buena calidad (Peralta, 2010). En base a esta experiencia, conjuntamente con el MAGAP y con el apoyo del Proyecto “Semillas andinas” de la FAO se ha elaborado la normativa ecuatoriana para la certificación de semilla de quinua.

En el 2006, el PRONALEG-GA del INIAP, junto a la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, organizan el XII Congreso Internacional de Cultivos Andinos. En el 2013, como parte de la Agenda del Año Internacional de la Quinua, en coordinación con el MAGAP y con la Universidad Técnica del Norte; en la ciudad de Ibarra se realiza el IV Congreso Mundial de la Quinua y I Simposio Internacional de Granos Andinos.

Es importante señalar que en el marco del Año Internacional de la Quinua y ante la creciente expectativa nacional e internacional, el MAGAP prioriza a la quinua, incluyéndola entre los rubros estratégicos para el fomento productivo y para el cambio de la matriz productiva. En este mismo contexto, desde el sector privado se están impulsando la creación de nuevas empresas (URCUPAC) y se ha conformado el Consorcio ecuatoriano de exportadores de la quinua, de la cual son parte la mayoría de las empresas y organizaciones ecuatorianas relacionadas con el cultivo de la quinua (MCCH, FUNDAMYF, URCUPAC, CEREALES ANDINOS, ROGETORE & FRANCO)

#### **Importancia de la quinua en Ecuador.**

En Ecuador, la quinua se puede producir en las 10 provincias de la Sierra (Figura 1), con un área potencial de cien mil hectáreas (Yugcha, 1998).





**Figura 1.** Distribución geográfica actual y potencial del cultivo de la quinua en Ecuador.

La Sierra de Ecuador es la región que se ha caracterizado por la producción de alimentos para el consumo nacional. Hasta finales de los 90, la quinua no aparece entre los cultivos más importantes, sino en la lista de productos destinados al autoconsumo local (comunidades, parroquias o cantones de la misma región) (Nieto, 1997).

De acuerdo con Nieto (1997), el cultivo de la quinua en Ecuador ha sido considerado secundario, no solo por su escasa superficie cultivada, sino por su bajo consumo per cápita (menos de 1 kg/persona/año) y bajo interés aparente de la población para incrementar su producción y consumo. Sin embargo, varias instituciones, investigadores y empresarios nacionales, apoyados por organismos internacionales y últimamente por el Gobierno Nacional, han realizado importantes actividades de rescate y promoción de los cultivos nativos no tradicionales, entre ellos la quinua. Fruto de estas acciones se ha logrado el rescate y conservación de germoplasma, la producción de semilla de

buena calidad, la generación de recomendaciones tecnológicas para su cultivo y su industrialización, así como la promoción del uso y consumo nacional e internacional (Jacobsen y Sherwood, 2002).

Según García (1984), los centros de producción de quinua se ubicaron en determinadas áreas de seis provincias de la sierra, de las cuales las de mayor importancia por la frecuencia y la superficie de cultivo son Chimborazo, Imbabura y Cotopaxi; con menor cuantificación, Tungurahua, Pichincha, Carchi. En Cañar y Azuay, el cultivo ha desaparecido. Para el año 1984, la superficie de cultivo se estima en apenas unas 900 a 1000 ha.

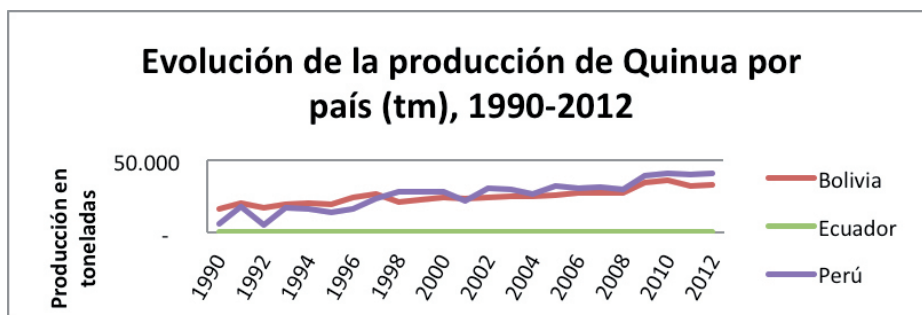
En la década de 1980, el INIAP y la empresa Nestlé tuvieron un papel esencial en el rescate de los cultivos andinos y la quinua fue la prioridad. Cuando se formó el departamento de investigación y desarrollo de Nestlé (Latinreco), lo máximo que se encontró del cultivo de quinua en Ecuador fue algunos surcos sembrados al interior de otros

cultivos y su comercialización era esencialmente nula. En 1990 la empresa INAGROFA comenzó a producir y comercializar quinua convencional para mercados nacionales y regionales, y orgánica para Europa y Estados Unidos. En 1999, ERPE, comenzó a promover la producción orgánica de quinua para exportación a los Estados Unidos. En 2002, se estima una producción en Ecuador de 2000 ha, de las cuales 500 ha están destinadas a la exportación como quinua orgánica certificada (Jacobsen y Sherwood, 2002).

Ecuador produce una cantidad muy inferior de quinua en comparación a Bolivia y Perú; no obstante, el país tiene un rendimiento promedio de 30 a 50% más alto que estos países. La competitividad futura del Ecuador podrá depender no solo de la capacidad de aumentar el área bajo producción, sino más bien de aumentar la productividad, calidad y reconocimiento de esta producción (Jacobsen y Sherwood, 2002).

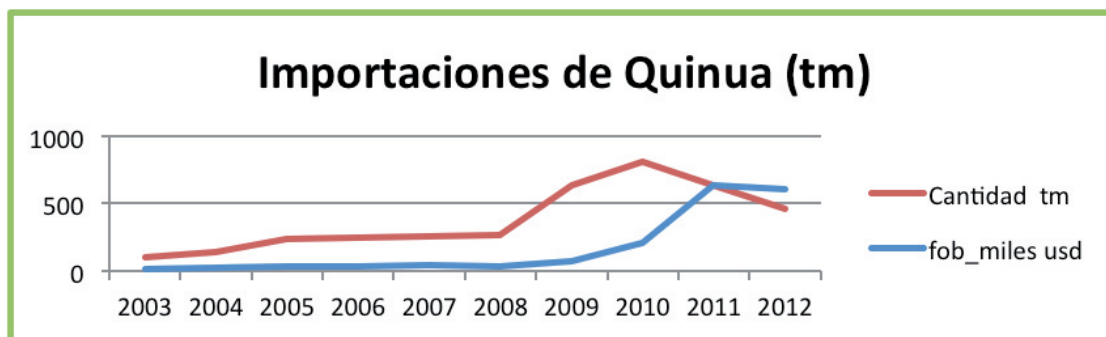
Junovich (2003) en base de los resultados del III Censo Agropecuario realizado en el año 2000 informa que para la quinua se registraron 2659 Unidades de Producción Agropecuaria (UPAs), con cerca de 900 ha sembradas, habiendo sido cosechadas 636 ha y con una producción total de 226 t, de las cuales se vendieron 180 t. El rendimiento promedio para la Sierra es de 0,4 t/ha. El promedio de superficie sembrada con quinua es de 0,3 ha/UPA. Las provincias con mayor número de UPAs con quinua son Chimborazo, Cotopaxi e Imbabura; pero la principal provincia productora es Chimborazo, en donde se obtuvo (en el período censal) cerca del 80% de la producción total.

En los últimos años el área sembrada de quinua en Ecuador ha fluctuado entre menos de 500 ha hasta alrededor de 1200 ha/año, que significan volúmenes no mayores a las 500 – 600 t (Figura 2).



**Figura 2.** Evolución de la producción de quinua en Ecuador (MAGAP: Proyecto de fomento de la producción de quinua en Ecuador, 2013).

Las importaciones de quinua al Ecuador, desde el año 2009 han sido superiores a las 500 t/año (Figura 3).

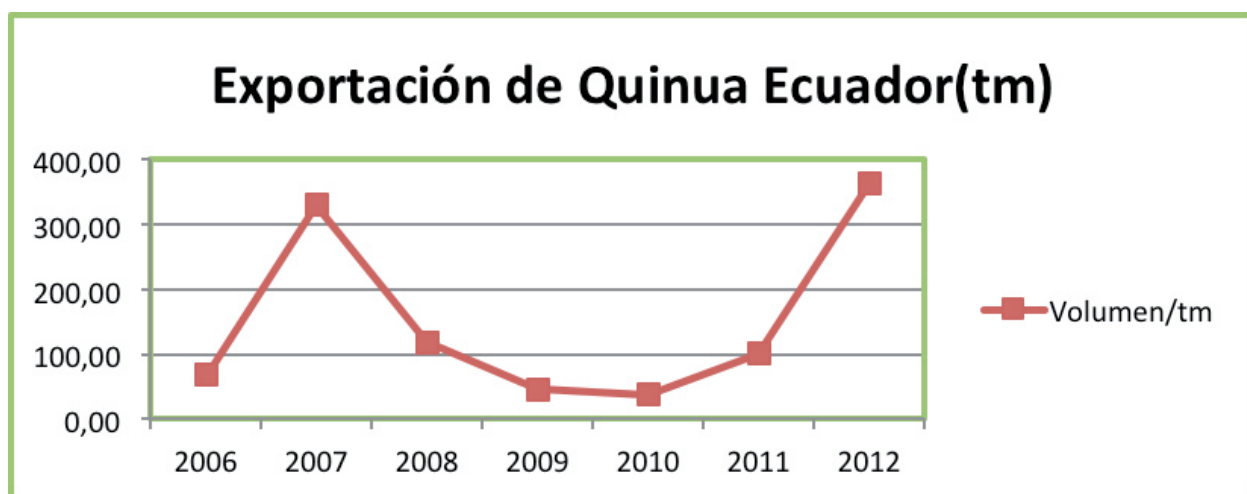


**Figura 3.** Importaciones de quinua al Ecuador (MAGAP: Proyecto de fomento de la producción de quinua en Ecuador, 2013).

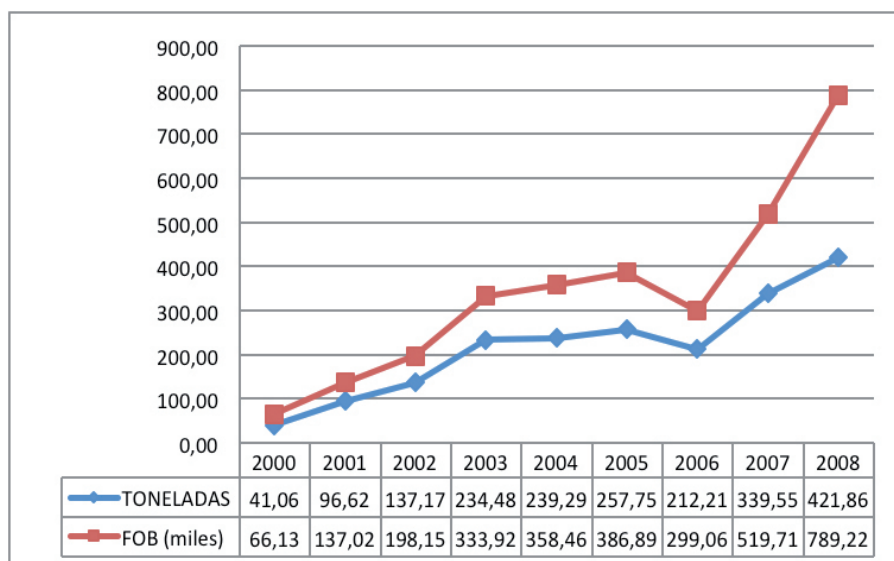


Según el Proyecto de fomento de la quinua del MAGAP, las exportaciones de quinua desde el Ecuador, no han superado las 500 t/año (Figura 4). Según el Banco Central, en el Ecuador las exportaciones de quinua presentan fluctuaciones desde 1987; el análisis de los últimos 8 años permite determinar un importante incremento

comparando las 41 t exportadas en el 2000 con las 422 t en el 2008. Entre el 2004-2005 estas se han mantenido relativamente constantes, a pesar de que en el año 2006 se registra un descenso del 18% en relación al 2005. Igualmente el precio FOB, ha experimentado un incremento, registrándose el mayor valor por tonelada (USD 1870,8) en el año 2008 (Figura 5).



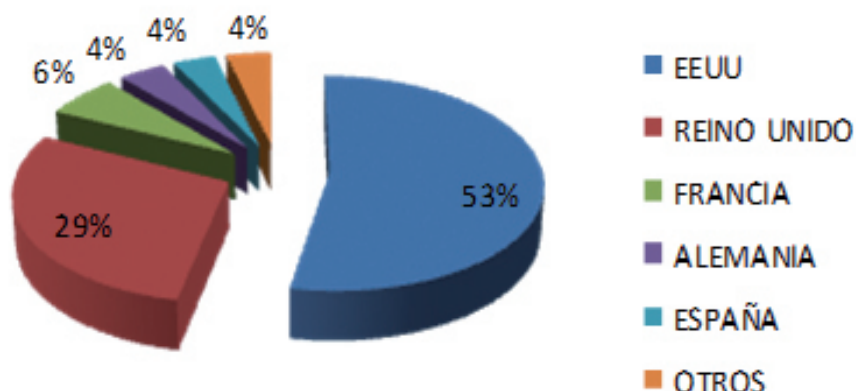
**Figura 4.** Exportaciones de quinua de Ecuador (MAGAP: Proyecto de fomento de la producción de quinua en Ecuador, 2013).



**Figura 5.** Demanda anual de la quinua ecuatoriana, período 2000 – 2008. (Banco Central del Ecuador, 2009).

Durante el período 2000-2008 los principales destinos de la quinua ecuatoriana han sido Estados Unidos con el 53%, el Reino Unido con

el 29%, Francia el 6%, Alemania y España el 4% y otros países a los que corresponde el 4% de las exportaciones totales (Figura 6).



**Figura 6.** Principales países de destino de la quinua ecuatoriana, período 2000 – 2008 (Banco Central del Ecuador, 2009)

#### La producción de la quinua en Ecuador.

El cultivo de la quinua en Ecuador, en su gran mayoría es realizado por productores de la agricultura familiar campesina; así, según el III Censo Agropecuario (Junovich, 2003), en el período de referencia del censo, se registraron 2659 Unidades de Producción Agropecuaria (UPAs), con cerca de 900 ha sembradas. El promedio de superficie implantada con quinua en la región Sierra es de 0.3 ha/UPA, lo cual nos indica que el cultivo se realiza en fincas de escaso tamaño. Las provincias donde se localizó la producción de quinua son Azuay, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Pichincha y Tungurahua; siendo Chimborazo, Cotopaxi e Imbabura las más importantes.

Para el año 2009, se conoce que el cultivo de la quinua ha sido incrementado en superficie en las provincias de Chimborazo (orgánica

principalmente), Imbabura, Carchi, Cotopaxi, Bolívar, Cañar, Pichincha y Loja. Se estima que la variedad INIAP Tunkahuan se siembra en más del 60% de la superficie cultivada en Ecuador.

Las variedades que siembran desde hace 15 años en sistemas orgánicos certificados para exportación en la provincia de Chimborazo y Bolívar, producidas por la ERPE (Escuelas Radiofónicas Populares de Ecuador) y COPROBICH (Corporación de productores y comercializadores orgánicos Bio Taita Chimborazo) son mezclas de variedades nativas de grano amargo (alto contenido de saponina), de colores de planta rojo, rosado, verde, morado (Imágenes 5 y 6). Algunos productores orgánicos han separado a las poblaciones por color; no es raro ver campos de plantas rojas o verdes solamente. Son variedades con granos de tamaño mediano, de color crema o blanco opaco. Principalmente se producen en las provincias de Chimborazo y Bolívar.



**Imagen 5.** Campo de quinua con mezcla de variedades nativas de quinua



**Imagen 6.** Cultivo de quinua con variedad nativa purificada.

La quinua en Ecuador se siembra alrededor del 90% en unicultivo y un 10% asociada o en sistemas de policultivos, junto al maíz, maíz-fréjol trepador, papa, habas, arveja, etc.

En el sistema convencional, los cultivos de rotación con quinua son papa, maíz-fréjol, cebada, arveja, chocho o tarwi, hortalizas, tubérculos menores (melloco, oca, mashua).

Las épocas de siembra van de noviembre a febrero, la misma que se realiza con una densidad de 12 a 16 kg/ha. La distancia de siembra varía

entre 40 y 60 cm entre surcos, cuando la siembra es manual o con pequeñas sembradoras de hortalizas. Si se maneja con tractor, la siembra se hace a 80 cm entre surcos para facilitar la deshierba y el aporque (Peralta *et ál.* 2012).

#### *Producción orgánica.*

La Fundación Escuelas Radiofónicas Populares (ERPE), produce en forma orgánica certificada 400 ha por año en la provincia de Chimborazo (cinco cantones), en función de las condiciones climáticas. Usan principalmente variedades nativas (poblaciones de diverso color de planta y ciclo de cultivo). El rendimiento que obtienen varía entre 15 y 30 quintales (675 a 1350 kg) (1qq=45 kg) por hectárea. La producción la comercializan en Estados Unidos y Alemania.

Para el consumo familiar actúan en base a un reglamento interno con los productores, los cuales deben dejar para el autoconsumo y semilla entre el 20 y el 30% de la producción. El volumen anual promedio varía entre 8.000 y 12.000 quintales dependiendo del clima. Venden toda la producción acopiada, es decir, entre 8.000 y 10.000 qq. El resto se queda para el autoconsumo (Información personal: Sr. Juan Pérez, ERPE).

La Corporación de productores y comercializadores orgánicos Bio Taita Chimborazo (COPROBICH), produce en forma orgánica certificada entre 400 a 600 qq/ha en la provincia de Chimborazo. Es una corporación de productores legalmente reconocida por el acuerdo ministerial No.184 del 31 de julio del 2003 del Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP). De derecho privado, autónoma, sin fines de lucro y de servicio y beneficio social para sus socios que son indígenas Puruhá de 86 comunidades de los cantones Riobamba, Colta, Guamote, Guano y Penipe. Cuenta a la fecha con más de 1632 familias asociadas. Desde el 2009 compra directamente quinua a sus socios y la exporta al comercio justo hacia Francia, Bélgica, Alemania, Canadá.

La Fundación para la Mujer y la Familia (FUNDAMYF), produce en promedio 400 ha/año en las provincias de Chimborazo, Bolívar, Tungurahua y Cotopaxi, con enfoque orgánico, certificada. Usa la variedad INIAP Tunkahuan. El

promedio de rendimiento está en 22 qq/ha. Su producción está destinada al mercado nacional y a la exportación (Información personal: Sra. María Eugenia Lima, FUNDAMYF).

La Fundación MAQUITA CUSUNCHIC (MCCH) siembra alrededor de 15 ha en Chimborazo, con un promedio de rendimiento de 15 qq/ha; lo hace también en otras provincias de la sierra ecuatoriana.

#### *Producción convencional.*

La empresa INAGROFA de manera convencional y desde hace 28 años, usando la variedad INIAP Tunkahuan siembra superficies que llegan a 600 ha por año, en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha y Cotopaxi, con un promedio de rendimiento de 44 qq/ha. Compra cosechas en otras provincias. Su mercado es nacional y de exportación a los EEUU (Información personal: Ing. Rodrigo Arroyo, INAGROFA).

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) en Imbabura, en los últimos cuatro años promueve la producción de quinua INIAP Tunkahuan, en un rango de 70 a 100 ha/año, de manera convencional. Obtiene rendimientos entre 33 y 66 qq/ha (1,5 a 2,5 t/ha). Trabaja con grupos de productores de agricultura familiar campesina asociados y también individuales. Ofrecen capacitación, seguimiento técnico, servicio de trillado con máquina estacionaria, acopio, procesado y facilita la comercialización a nivel nacional y en el mercado colombiano (Información personal: Ing. José Manuel López, MAGAP).

La corporación familiar Revelo Jara, de manera convencional, produce un promedio de 80 ha/año de la variedad INIAP Tunkahuan, en la provincia del Carchi, con un promedio de rendimiento de 25 qq/ha. Su mercado es nacional, para los programas de alimentación del gobierno (Información personal: Econ. Lourdes Revelo).

La Asociación de Productores de Semillas y Alimentos Nutricionales Andinos Mushuk Yuyai (APROSANAMY) de Cañar (14 socios, 120 productores, 30 cultivadores de quinua), produce en forma agroecológica de 7 a 11 ha por año en la provincia de Cañar (cuatro cantones) y Azuay (un cantón), en función de las condiciones climáticas,

en parcelas pequeñas, con un mayor número de familias. Usan principalmente la variedad INIAP Tunkahuan y en menor grado INIAP Pata de Venado. Debido a los efectos de la variabilidad climática en los rendimientos del cultivo pierden el interés, así como también porque no genera rastrojos para alimentar al ganado. El rendimiento en siembras de monocultivo obtienen en promedio 30 quintales (1350 kg) por hectárea. La producción comercializa en forma local (centros educativos, ciudad y tiendas comunales). Para el consumo familiar motivan a consumir en familia y recomiendan almacenar para el autoconsumo y semilla entre el 10 y el 15 % de la producción. El volumen anual promedio varía entre 30 y 200 quintales dependiendo del clima. Venden 120 qq al año con valor agregado, el resto venden los mismos productores a los consumidores en las ferias locales (Comunicación personal: Lcdo. Nicolás Pichazaca y equipo técnico APROSANAMY).

CORPOPURUWA: es una corporación con 62 socios fundadores (15 mujeres y 47 hombres) de las comunidades San Miguel de Pomachaca, Asociación Mushuk Pakari, Pull San Pedro y Sacahuan Tiocajas del cantón Guamote. Su Personería Jurídica es reconocida con el Acuerdo N°. 038, de la Dirección Provincial Agropecuaria de Chimborazo (MAGAP, 2010); producen quinua en pequeñas cantidades, en rotación con el cultivo de chocho o tarwi.

#### **Perspectivas de la quinua en Ecuador.**

En el país hay posibilidades para intensificar la producción de la quinua y mejorar su productividad, pues existirían más de 80000 ha con condiciones agroecológicas adecuadas, pero debe facilitarse el acceso a capacitación en el manejo integrado del cultivo, a semilla de buena calidad, créditos productivos, máquinas para la trilla, precio justo para los productores, etc.

Por la estructura agraria actual, la intensificación agroecológica es una opción, sobre todo para los productores de la agricultura familiar, en donde la quinua es parte de su lógica de producción (rotaciones, asociaciones) y de una manera organizada pueden acceder a mercados alternativos relacionados con el comercio justo, producción orgánica, etc.



En función de la demanda internacional, en Ecuador hay buenas perspectivas para el cultivo de la quinua. Como ejemplo se puede indicar la formación de la Corporación Ecuatoriana de Exportadores de Quinua, que junta a importantes empresas y organizaciones de desarrollo para impulsar la producción, generar valor agregado y comercializar en mercados internacionales.

El Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) está iniciando un Proyecto de Fomento de la Producción de Quinua, el cual incluye la distribución de semilla certificada, insumos básicos, crédito, dotación de máquinas para la siembra y cosecha, asesoramiento técnico, etc.

En los Programas de Alimentación Escolar, el Gobierno impulsa la inclusión en los desayunos escolares de productos nutritivos (incluyendo la quinua) producidos localmente.

Sin embargo, hay que considerar algunos desafíos actuales de la agricultura. Uno de los inconvenientes para fomentar la producción de la quinua y propiciar el mejoramiento de su productividad y de los sistemas de producción involucrados es que en el país no existen técnicos con la suficiente formación académica y práctica. Además, cada vez es mayor el desinterés de los jóvenes en la agricultura, quedando la producción agrícola en manos de adultos mayores y de las mujeres, lo cual dificulta la implementación de programas y proyectos de fomento de la producción de alimentos, como la quinua, tanto para el consumo interno como para la comercialización en mercados internacionales.

En el contexto de variabilidad climática, se dificulta hacer una buena planificación de las siembras y los riesgos de perder las cosechas son cada vez mayores. Por esta razón se observa una ampliación de la producción ganadera en el país; los agricultores, prefieren invertir en este rubro, pues significa menos riesgos desde el punto de vista climático y les permite obtener ingresos de manera permanente.

Finalmente, la demanda de la quinua está basada en las expectativas de precios altos en

el mercado internacional, el cual puede cambiar de un momento a otro, como consecuencia de la crisis económica en los países desarrollados y porque puede darse una sobreproducción de este producto en vista del gran número de países y empresas interesados en la producción de la quinua.

### Conclusiones.

La quinua en Ecuador, en función del área sembrada y del consumo *per cápita*, es un cultivo secundario; pero muy importante para la seguridad alimentaria, sobre todo para los productores de la agricultura familiar campesina de la Sierra. Ante la gran expectativa a nivel mundial y por los altos precios en los mercados, hoy en día hay muchas empresas y organizaciones interesadas en incrementar la producción nacional de la quinua, iniciativas que están siendo respaldadas por el Gobierno, a través del Plan de Fomento productivo de la quinua y de otras iniciativas relacionadas con el cambio de la matriz productiva y de comercio exterior.

El país podría responder a esta demanda, considerando que las condiciones agroecológicas y las tecnologías desarrolladas en el país (manejo del cultivo, cosecha, poscosecha, generación de valor agregado) permitirían incrementar el área sembrada y mejorar la productividad, siendo más competitivos en los mercados locales, regionales e internacionales. Sin embargo, es necesario resolver algunos inconvenientes, como la débil asociatividad de los productores; el bajo acceso a semillas de buena calidad y otros insumos; el acceso a maquinaria para preparación del suelo, cosecha y poscosecha; la insuficiente capacidad en infraestructura y económica para el acopio de las cosechas; el cada vez menor interés de los campesinos y sobre todo de los jóvenes en la agricultura; el aún incipiente servicio de asistencia técnica agropecuaria; entre los más importantes.

### Referencias

Estrella, E. (1998). El Pan de América: etnohistoria de los alimentos aborígenes en el Ecuador. Tercera Edición transcrita y corregida de la 1ra. Impresión madrileña 1986. FUNDACYT. Quito, Ecuador. 257 p.

- Gandarillas H, C Nieto, R Castillo. (1989). Razas de quinua en Ecuador. Boletín Técnico No. 67. Programa de Cultivos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador. 16 p.
- Guambuguete, R., V. Purcachi. (2003). Caracterización agronómica y morfológica con investigación participativa de 21 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) en las localidades de Laguacoto II y San Simón, provincia de Bolívar. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda, Ecuador. 120 p.
- García, G. (1984). Diagnóstico de la situación actual y perspectivas de la producción de quinua en Ecuador. Tesis Ing. Agrónomo. Facultad de Ingeniería Agronómica. Escuela Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 270 p.
- Jacobsen, S., S. Sherwood. (2002). Cultivo de Granos Andinos en Ecuador. Informe sobre los rubros quinua, chocho y amaranto. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Centro Internacional de la Papa (CIP), Catholic Relief Services (CRS). Quito, Ecuador. 90 p.
- Jácome, P. (2002). Evaluación agronómica, morfológica y de calidad de 21 líneas promisorias de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en la Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. Facultad de Ciencias Agropecuarias, ESPE. Quito, Ecuador. 120 p.
- Junovich, A. (2003). La quinua en el Ecuador a través de los datos del III Censo Nacional Agropecuario. Proyecto SICA/Banco Mundial. Quito, Ecuador. 7 p.
- INIAP. (1967). Informe Anual Técnico. Quito, Ecuador.
- INEN. (1998). Norma 1673 para el grano de Quinua. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, Ecuador. 6 p.
- Mazón N., E. Peralta, C. Monar, C. Subía, M. Rivera. (2007). Pata de Venado (Taruka chaki). Nueva variedad de quinua precoz y de grano dulce. Plegable No. 261. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador.
- Mazón, N., Rivera, M., Peralta, Estrella, J., Tapia, C. (2002). Catálogo del Banco de Germoplasma de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de INIAP-Ecuador. Programa Nacional de Leguminosas-Granos Andinos y Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador. 98 p.
- Mazón, N., M. Rivera, E. Peralta, J. Estrella, C. Tapia. (2002). Catálogo del Banco de Germoplasma de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del INIAP-Ecuador. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología. Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador. 98 p.
- McElhinny, E., E. Peralta, N. Mazón, D. Danial, G. Thiele, P. Lindhout. (2007). Aspects of participatory plant breeding for quinoa in marginal areas of Ecuador. Euphytica Special Issue. Focusing on breeding for durable disease resistance of the Andean Highland food crops. Proyecto de Resistencia Duradera de la Zona Andina – PREDUZA (1997 – 2006). INIAP, INIA, PROINPA. Wageningen, Holanda. pp. 26 a 36.
- Muñoz, L., C. Monteros, P. Montesdeoca. (1990). A cocinar con quinua, 92 recetas fáciles de preparar. Publicación Miscelánea No. 55. Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador. 89 p.
- Nieto, C. (1997). Los sistemas de producción agrícola campesina en los Andes del Ecuador. La sostenibilidad de los sistemas de producción campesina en los Andes, CONDESAN. Lima, Perú. pp. 79 – 130.
- Nieto, C., C. Vimos. (1992). La quinua, cosecha y poscosecha. Boletín Divulgativo No. 224. Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador.
- Nieto, C, C. Vimos, C. Monteros, C. Caicedo, M. Rivera. (1992). "INIAP INGAPIRCA E INIAP TUNKAHUAN DOS VARIEDADES DE QUINUA DE BAJO CONTENIDO DE SAPONINA". Boletín Divulgativo No. 228. Programa de Cultivos

- Andinos. Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador. 23 p.
- Nieto, C., R. Castillo, E. Peralta. (1986). INIAP Imbaya e INIAP Cochasquí, primeras variedades para la Sierra ecuatoriana. Boletín Divulgativo No. 187. Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador.
- Nieto, C., J. Rea, R. Castillo, E. Peralta. (1983). Guía para el manejo y preservación de los recursos fitogenéticos. Unidades de Recursos Fitogenéticos y Cultivos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador. 55 p.
- Peralta, E, A. Murillo, N Mazón, E Villacrés, M Rivera. (2013). Catálogo de variedades mejoradas de granos andinos: chocho, quinua y amaranto, para la Sierra de Ecuador. Publicación Miscelánea No. 151. Tercera Edición. PRONALEG-GA/EESC/ INIAP. Quito, Ecuador. 28 p.
- Peralta, E. (2013). INIAP Tunkahuan. Variedad mejorada de quinua de bajo contenido de saponina. Plegable Divulgativo No. 345. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador.
- Peralta E, N. Mazón, Á. Murillo, M. Rivera, D. Rodríguez, L. Lomas, C. Monar. (2012). Manual Agrícola de Granos Andinos: chocho, quinua, amaranto y ataco. Cultivos, variedades y costos de producción. Publicación miscelánea No. 69. Tercera Edición. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. 68 p.
- Peralta, E. (2010). Producción y distribución de semilla de buena calidad con pequeños agricultores de granos andinos: chocho, quinua, amaranto. Sistema no convencional. Publicación miscelánea No. 169. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador. 68 p.
- Peralta, E. (1985). LA QUINUA...Un gran alimento y su utilización. Boletín Divulgativo No. 175. Sección Quinua-Cultivos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador. 21 p.
- Peralta, E. y Vicuña, J. (1981). Estudio de cinco ecotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con cuatro densidades de siembra en Cañara. Cañar. Tesis de Ing. Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 80 p.
- Raffauf, M. (2000). Quinua orgánica. Escuelas Radiofónicas Populares del Ecuador (ERPE). Riobamba, Ecuador. 97 p.
- Tapia, M. (1979). Historia y Distribución Geográfica. En Quinua y Kañiwa, cultivos andinos. IICA-CIID, Bogotá, Colombia. pp 16-17.
- Yugcha, T. (1998). Zonificación potencial del cultivo de quinua en el callejón interandino del Ecuador. [http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/16/13709797862330/zonificacion\\_quinua\\_ecuador.pdf](http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/16/13709797862330/zonificacion_quinua_ecuador.pdf)
- Whali, Ch. (1990). Quinua hacia su cultivo comercial. Latinreco S.A. Quito, Ecuador. 198 p.

## CAPÍTULO: 5.4.

# TÍTULO: LA QUÍNOA EN CHILE

\*Autor para correspondencia: Didier BAZILE <[didier.bazile@cirad.fr](mailto:didier.bazile@cirad.fr)>

### Autores:

DIDIER BAZILE<sup>a</sup>; ENRIQUE A MARTÍNEZ<sup>b</sup>; FRANCISCO F FUENTES<sup>c</sup>; EDUARDO CHIA<sup>d</sup>; MINA NAMDAR-IRANI<sup>e</sup>; PABLO OLGUÍN<sup>f</sup>; CONSTANZA SAA<sup>e</sup>; MAX THOMET<sup>g</sup>; ALEJANDRA VIDAL B<sup>f</sup>.

<sup>a</sup> UPR47, GREEN, CIRAD (Montpellier, Francia) y PUCV, Instituto de Geografía, Av. Brasil 2241, Valparaíso, Chile.

<sup>b</sup> Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, Av. Raúl Bitrán s/n, Casilla 599, La Serena, Chile.

<sup>c</sup> Universidad Arturo Prat, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Av. Arturo Prat 2120, Iquique, Chile

<sup>d</sup> UMR Innovation, INRA (Montpellier, Francia).

<sup>e</sup> Qualitas AgroConsultores, Santiago, Chile.

<sup>f</sup> Pontificia Universidad Católica de Valparaíso PUCV, Instituto de Geografía, Av. Brasil 2241, Valparaíso, Chile.

<sup>g</sup> CET Sur, Calle Tres Poniente s/n. Labranza, Temuco, Chile.

### Resumen:

La biogeografía de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) presenta una visión global de un cultivo menor en la agricultura chilena que tiene una amplia extensión geográfica (18°S-47°S). Su alta diversidad genética demuestra que es una de las especies de mayor importancia en Los Andes de Sudamérica. El proceso de domesticación de la quinua se ha realizado en distintas zonas geográficas, lo cual ha significado la existencia de una amplia variación de caracteres morfológicos y de adaptación medioambiental. Las adaptaciones particulares, en diferentes macro zonas a lo largo de Los Andes, han generado cinco ecotipos, asociados a sub-centros de diversidad. Chile cuenta con dos ecotipos, la quinua de los salares en el extremo norte del país y la quinua de la costa o de nivel del mar en la zona centro y centro-sur. Asimismo, estos ecotipos han sido recientemente asociados a la diversidad de sistemas de producción considerando aspectos biofísicos, sociales y culturales. Sin olvidar la influencia de las políticas públicas en la dinámica de los sistemas de producción como así también de las relaciones con los mercados.

Palabras claves: *Chenopodium quinoa* Willd., Chile, biodiversidad, geografía, agroecosistemas.

### Introducción.

En el contexto actual de globalización de las economías, la agricultura tiene una importancia crucial para la población del mundo (Harvey, 2001, 2005). Es así, que en el caso del desarrollo rural y de la producción alimentaria, se puede reflejar varios modelos de uso de los recursos naturales y de agricultura (FAO, 2006), de organización social y de identidad cultural (Leff, 2005). Hoy en día en Chile, hay dos modelos de producción, uno con fines de exportación que orienta la concentración de sus explotaciones (en particular a través de un aumento de superficie), recursos y cadenas de producción con mayor dependencia a factores de riesgos externos; el otro, dominado por la agricultura familiar campesina se restringe a la producción de alimentos y a los mercados locales. Estas explotaciones adaptan sus prácticas a las características de los ecosistemas que son conocidos de varias generaciones de agricultores. Ambos modelos tienen su importancia propia



para participar en el desarrollo local. En el caso del cultivo de quinua también encontramos, a más pequeña escala, los dos modelos. El objetivo del presente capítulo es resaltar la importancia de (re)considerar la diversidad de los sistemas de producción agrícola vinculada a la biogeografía para optimizar las posibilidades de usos de las especies cultivadas, a través del caso específico de la quinua en Chile.

La domesticación de la quinua comenzó hace más de 7 mil años en el sur de Perú y norte de Bolivia, permitiendo su adaptación desde el norte hasta el sur de Chile a través de varios agroecosistemas modelados por antiguos asentamientos humanos generando una alta diversidad genética para adaptarse a esta amplia diversidad ecológica.

En Chile, aun se carece de estudios que permitan establecer – en un sentido amplio – la importancia de los cultivos tradicionales y variedades campesinas, ya sean estudios históricos, antropológicos, económicos, geográficos y/o estratégicos, determinando la falta de vinculación entre la conservación de la quinua y su desarrollo. Si se considera la diversidad de la quinua como recurso fitogenético, podría haber un cambio en la percepción del concepto de biodiversidad desde el punto de vista biológico y de la productividad agrícola, implicando un cambio en la agricultura y de su relación con los ecosistemas locales, conduciendo entonces a una re-definición de lo que es la agrobiodiversidad con apuestas globales tales como la reproducción de los sistemas agrícolas, la creación y mantenimiento de los vínculos sociales y la transmisión patrimonial (Chevassus-au-Louis y Bazile, 2008; Kaine y Tozer, 2005). Así, la construcción de una sustentabilidad con enfoque en la biodiversidad agrícola está vinculada al sistema de los actores del territorio. Esta constante va a dar sentido a la noción de biodiversidad, concepto que en geografía se describió como la vinculación que una sociedad mantiene con la diversidad de vida en tanto que ella constituye un “problema” (o un interés) para dicha sociedad. Para Leff (2005): “El territorio es el lugar donde la sustentabilidad se enraíza en bases ecológicas e identidades culturales. Es el espacio social donde los actores sociales ejercen su poder para controlar la degradación ambiental y para movilizar potenciales ambientales, para satisfacer

necesidades, aspiraciones y deseos de los pueblos, que la globalización económica no puede cumplir”.

A nivel local se generan espacios donde se expresan los límites y también las sinergias positivas de los modelos de crecimiento o de desarrollo de la agricultura (Zalabata, 2003). La diversidad del medio se traduce en una diversidad de prácticas agrarias las cuales no entran de manera simple en un análisis de los sistemas agrarios (Naredo, 1996). Para identificar la sostenibilidad, a través de la presión ecológica que los cultivos operan o las posibilidades económicas que brindan, se debe mirar constantemente la diversidad estructural del territorio que se refleja en diversidad de suelos, especies, ecosistemas, paisajes y vocaciones y usos de ellos mismos. Estos modelos describen los mecanismos de organización en el territorio en cuestión. Además, este principio de representación o proceso de transcripción, tiene que contribuir a superar la falta de relaciones entre los conocimientos, entre la cultura campesina y la científica, con el fin de evitar confrontación y antagonismos (Serrano, 2005) entre los modelos de tradición y los de innovación (Hocde *et al.*, 2008).

La primera parte de este capítulo cuenta la historia general de la quinua en los Andes y en Chile para explicar, hoy en día, su presencia en varios paisajes agrícolas del territorio chileno, desde el extremo norte hasta los valles y montañas del sur. La segunda parte presenta el espacio agrícola a través de varios aspectos: el clima, los suelos, hasta la diversidad de las variedades campesinas de quinua. Con respecto a la ecología de la explotación agrícola (Parra, 2007; Rescia *et al.* 2002), abordaremos en la tercera parte la caracterización de los actuales productores de quinua en Chile. La última parte analiza la relevancia de los factores de los “territorios de la quinua” para explicar la alta diversidad genética del cultivo de quinua en Chile y la importancia de mantenerlos, tanto para adaptarse a varios ambientes así como al mercado, proponiendo productos específicos. En conclusión, queremos resaltar que la quinua en Chile a pesar de ser un cultivo considerado como menor posee una amplia diversidad ecológica y de producción ocupando varios ecosistemas. Así, se plantean nuevas perspectivas del desarrollo agrario en Chile referente a las posibles interacciones sociales, ecológicas y económicas en los diversos territorios. Por lo mismo, en el contexto del

desarrollo sustentable, la gestión del cultivo de la quinua debería ser diseñada en función de las dinámicas de su amplia biodiversidad y de una doble gestión vertical, extenso territorio que va desde la región Aymara a la región Mapuche y horizontal o local donde la coherencia territorial debe ser el producto del conjunto de los actores: agricultores y no-agricultores; privados y públicos.

### **Historia general de la quinua en los Andes y en Chile.**

En el contexto Andino, existe información que señala que probablemente la quinua fue domesticada por antiguas civilizaciones en diferentes tiempos y zonas geográficas, incluyendo zonas de Perú (5000 AC), Chile (3000 AC) y Bolivia (750 AC) (Kadereit et al. 2003). Hoy en día, su existencia en Chile puede ser explicada por el intercambio cultural entre antiguas poblaciones como la cultura Incaica y otros grupos, originarios de Chile, situados en diferentes contextos agroecológicos desde el altiplano chileno por el norte (17°S) hasta la Isla de Chiloé e incluso más en el sur (47°S, Puerto Río Tranquilo). No obstante, durante la conquista española este cultivo fue fuertemente desincentivado, debido a su importancia en la sociedad y por considerarse sagrado en la creencia religiosa de los indígenas (Ruas et al. 1999). Así, el cultivo de quinua se conservó sólo en lugares donde no se intervino con programas de modernización agrícola, siendo particularmente conservado por mujeres campesinas e indígenas. Actualmente el fenómeno de migración de la población desde las zonas rurales de los Andes hacia centros urbanos, está exponiendo aún más a la quinua al riesgo de erosión genética, proceso consistente en la pérdida de su diversidad genética, conservada *in situ* por miles de años, debido a la pérdida de la tradición de su cultivo.

Diversos documentos históricos relatan la presencia de la quinua en territorio chileno, desde la zona norte hasta los valles y montañas del sur. Este paisaje agrícola fue tempranamente descrito por Pedro de Valdivia al Rey Carlos V en el siglo XVI: "... esta tierra es prospera de ganado como el Perú... abidosa de todo los mantenimientos que siembran los indígenas para su sustentación, así como maíz, papas, **quinua**, madi, ají, frijoles..."

Posteriormente el botánico francés Claudio Gay,

en sus expediciones en Chile durante el siglo XIX describe a la quinua como: "...planta originaria de América y cultivada desde mucho tiempo en Chile. Los españoles la encontraron en todas partes desde Copiapó hasta la isla de Chiloé en donde los habitantes la cultivaban asociada al maíz y las papas..." (Molina, 1810).

Dentro de las crónicas escritas, Juan Ignacio Molina (1810) detalla su sistema de producción, haciendo referencia especial a la variedad del Sur llamada "*Dahue*", la cual "produce hojas cenicientas y semillas blancas. Con las semillas negras hacen una bebida estomacal agradable y con las blancas, que al cocerlas se distienden a guisa de un pequeño gusano, preparan una sabrosa sopa; comen aún las hojas, cocidas como las de las espinacas. Cerca de tres meses antes de sembrarla, conducen allí para dormir sus ganados, cambiándoles de sitio cada tres noches, cuando el campo está bien estercolado, siembran, el grano sobre la yerba y sobre el estiércol."

A mediados del siglo XX el cultivo de la quinua estaba casi desapareciendo según descripciones realizadas por Looser (1943). Sin embargo, debido a la persistencia de los campesinos aún se le cultiva en la zona Andina, en el extremo norte del país en la frontera con Perú y Bolivia (Lanino, 1976), así como en la zona central al sur de Santiago, a nivel del mar en Concepción y en la Araucanía, donde la población Mapuche le denomina *quinhua* o *kinwa* (Junge, 1978).

### **Ecotipos de quinua presentes en Chile.**

Las quinuas presentes en Chile conservan los mismos patrones morfológicos y de colores descritos para otras latitudes (Gandarillas 1979, Bhargava et al., 2005, Fuentes y Bhargava, 2011). Sin embargo, debido a la existencia de adaptaciones particulares de esta especie a ciertas zonas geográficas a lo largo de Los Andes, es que se reconocen cinco ecotipos asociados a sub-centros de diversidad (Figura 1). Estos corresponden a: (1) quinua de los valles interandinos (Colombia, Ecuador y Perú), (2) quinua del altiplano (Perú y Bolivia), (3) quinua de las Yungas (Bolivia), (4) quinua de los salares (Bolivia, Chile y Argentina), y (5) quinua de la costa o de nivel del mar (Chile y Argentina).



**Figura 1:** Distribución de los ecotipos de quinua en los sub-centros de diversidad: A. Valles Interandinos, B. Altiplano, C. Yungas, D. Salares, y E. Costa. Fuente: Elaboración de Francisco Fuentes Carmona

El cultivo de la quinua en Chile se basa en el uso de los dos ecotipos de quinua existentes en el país, estos son: ecotipo de *salares* y ecotipo de la *costa* o de *tierras bajas*. El ecotipo de salares, se encuentra distribuido en las regiones de Tarapacá y Antofagasta en el extremo norte del país. Estos genotipos son tradicionalmente cultivados por comunidades indígenas del altiplano chileno, en condiciones de suelos salinos y pluviometría fluctuante entre 100 – 200 mm/año entre los meses de diciembre a febrero (Fuentes *et al.* 2012). Diversas variedades locales de quinua en la zona norte del país se encuentran estrechamente emparentados con variedades del ecotipo de salares de quinua de Bolivia, donde no existe frontera natural entre ambos países. No obstante existen evidencias de la introducción de algunos materiales desde la zona andina de Perú

en la región de Antofagasta, cuya barrera natural corresponde al actual desierto de Atacama. Pese a ello la morfología dominante en la mayor parte de los materiales estudiados hasta hoy, corresponde al de quinua de salares (Fuentes *et al.* 2009a).

En la zona centro y sur de Chile (regiones políticas de O'Higgins hasta de Los Lagos) se cultiva la quinua correspondiente al ecotipo de la costa. Su cultivo se caracteriza por desarrollarse a altitudes variables entre 0 a 800 msnm, bajo condiciones de secano (Fuentes *et al.* 2012). Una notable diferencia existente en su cultivo, respecto a la condición de secano de la quinua de salares en el norte de Chile, es que la época de lluvias en la zona centro y sur del país se concentra durante el período invernal, con precipitaciones que fluctúan, de acuerdo a la

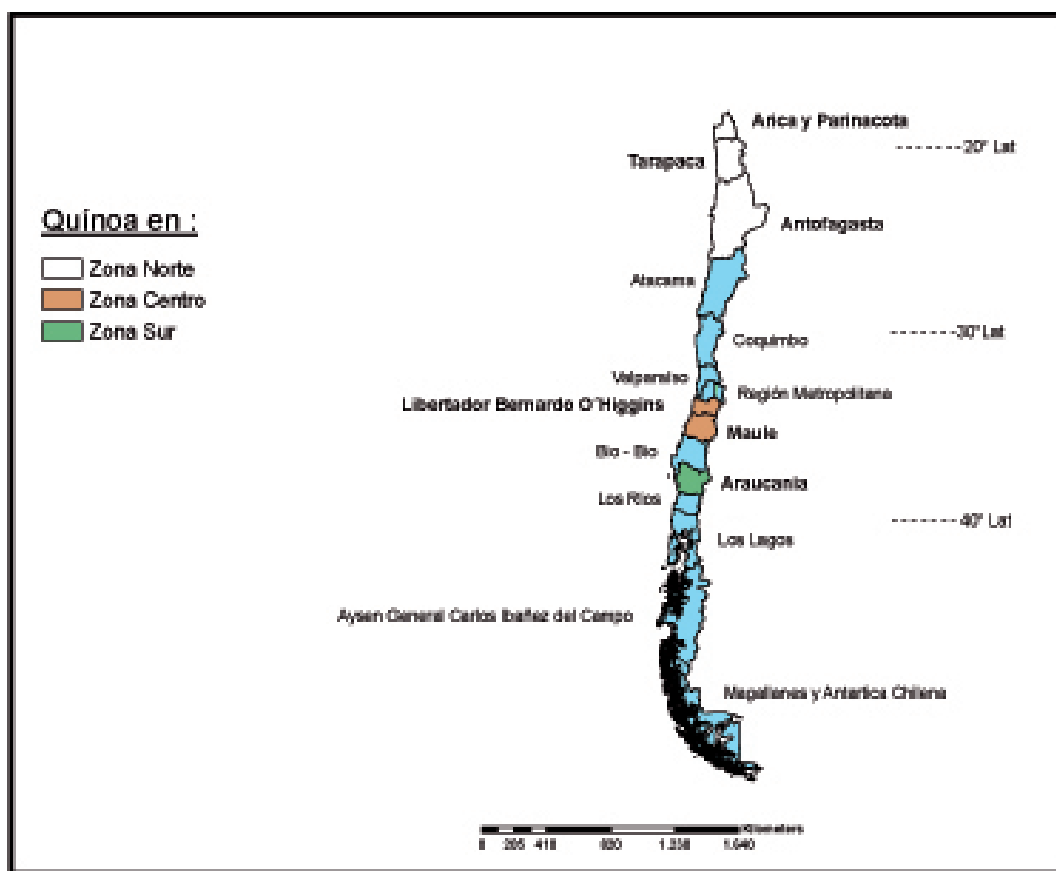
zona geográfica comprendida entre la región del Libertador Bernardo O'Higgins y la región de Los Ríos y de Los Lagos, de 500 a 1.900 mm/año.

En relación a estos dos ecotipos cultivados en Chile, existe una reconocida y marcada diferencia en términos de adaptación a la altitud, tolerancia a la sequía, salinidad y sensibilidad a la longitud del día, lo cual podría implicar desde el punto de vista agronómico que ecotipos de la costa puedan adaptarse a altas altitudes y que puedan viajar entre regiones por los agricultores como dentro de cruzamientos naturales o dirigidos por parte de los mejoradores (Fuentes *et al.*, 2009b). Asimismo que razas locales puedan adaptarse a otros usos como

los forrajeros o consumo como ensaladas (Fuentes y Bhargava, 2011).

#### Distribución actual del cultivo de la quinua en Chile y climas asociados.

La distribución de la quinua en Chile puede ser analizada y entendida considerando tres macro zonas de producción ancestral, o relictas, asociadas a subgrupos de diversidad genética y de sistemas de producción agrícolas (Fuentes *et al.*, 2009b, c; 2012) (Figura 2): la zona norte (regiones políticas XV, I y II), la zona centro (regiones políticas VI, VII) y la zona Sur (centrada en la región IX, pero también con presencia en las regiones VIII, XIV, X, XI).

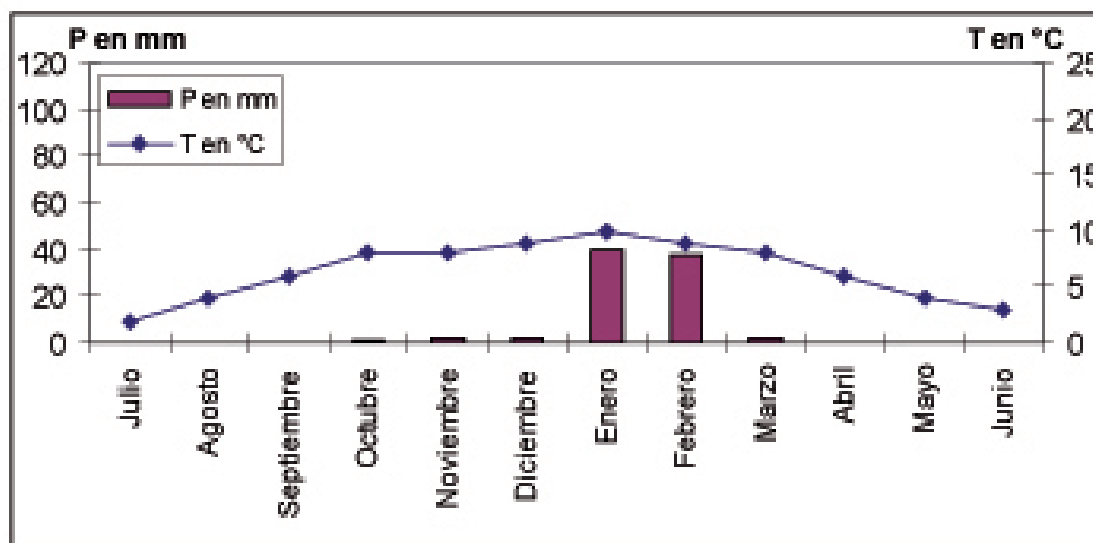


**Figura 2:** Las tres macro zonas relictas donde se produce la quinua en Chile. Fuente: Proyecto IMAS (ANR), 2009 (<http://imas.agropolis.fr/> y <http://www.quinua-chile.cl> )



Al norte de Chile, las zonas con cultivos de quinua tienen influencia tropical limitándose solo a espacios de altura ("*puna*", climáticamente definidos por Di Castri, 1968). Así, la diferenciación bioclimática se encuentra vinculada con precipitaciones estivales características de la zona influenciada por bajas presiones provenientes del oriente de los Andes (Lanino, 1976). Pero, al contrario de otros climas tropicales, la altura limita el nivel de las temperaturas lo que va a dar importancia a micro estructuras del paisaje que regulan las temperaturas. En la zona norte de Chile, la quinua se encuentra de manera exclusiva en el *altiplano*, en zonas ubicadas a alturas variables entre 3.000 a 4.500 m.s.n.m. La elevación de este *Clima de Estepa de Altura* (o *Desértico Marginal de Altura* según la clasificación más antigua, de Köppen, 1931) influye directamente sobre las temperaturas medias, las cuales no sobrepasan los 5° C con una gran amplitud térmica entre el día y la noche (Figura 3a). Existe un promedio de 9-10 meses con temperaturas inferiores a 10°C, y

4 meses muy fríos lo que conduce a un promedio de temperatura anual de sólo 4,5°C, un promedio de las máximas de 11,5 ° C y un promedio de las mínimas inferior a 0°C. La pluviometría anual corresponde a un promedio de 120 mm. Las precipitaciones más importantes ocurren durante el verano, son de origen convectivo, provenientes de nubosidad producida por el ascenso de masas de aire cargadas de humedad por la vertiente oriental de los Andes, provenientes de la cuenca amazónica y del Atlántico. En algunos sectores la pluviometría puede superar los 400 mm al año, sin embargo estas disminuyen progresivamente hacia el sur. La humedad relativa en general es baja. Datos recopilados por la Estación Meteorológica situada en el sector de Vilacollo en la Comuna de Colchane (Región de Tarapacá) indican durante la temporada 2005-06 temperaturas máximas y mínimas de 23,2 y -8°C respectivamente, vientos con velocidades que superan los 54 km·h<sup>-1</sup>, radiación solar con máximas registradas de 1218 W·m<sup>-2</sup> y una pluviometría anual de 147 mm (Arenas y Lanino, 2008; Delatorre *et al.*, 2008).



**Figura 3a:** Diagrama Ombrotermico General de la Macro zona Norte a partir del ejemplo de Ollagüe, *Clima de Estepa de Altura*

### La Macro zona Centro.

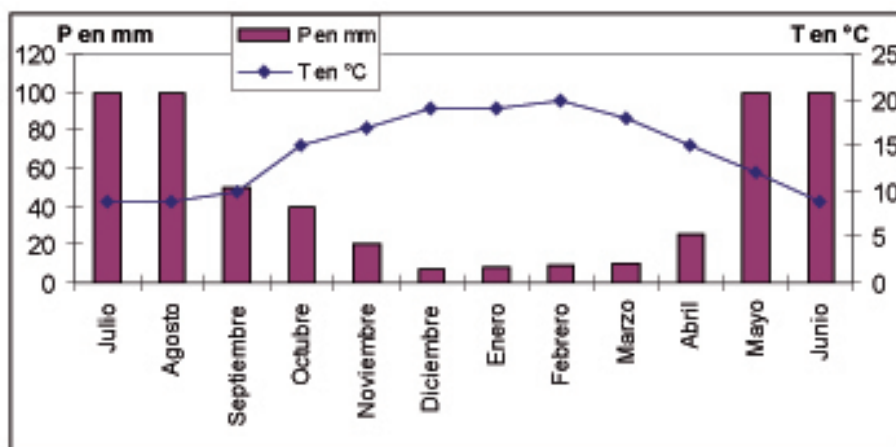
Al centro de Chile, se considera la zona de clima tipo mediterráneo del país con un gradiente progresivo de humedad de norte al sur de esta zona (Di Castri, *op. cit.*). La producción de quinua se concentra en la región de tipo mediterráneo llamada sub-húmeda. La orientación del relieve influye también en la distribución de las precipitaciones, observándose su aumento en las laderas occidentales de la cordillera de los Andes y de la Costa en relación a sus áreas contiguas. En las regiones VI y VII se encuentran dos tipos de *Clima Templado Cálido con Estación Seca Prolongada* con o sin una gran nubosidad (Körppen (1931) propone también *Templado cálido con lluvias invernales y gran nubosidad y Templado cálido con lluvias invernales*).

Este clima con nubosidad se encuentra en el sector costero de la zona norte de esta macro zona, abarcando las planicies litorales y la vertiente occidental de la cordillera de la Costa. El clima está determinado por la influencia del mar, que modera las temperaturas y produce una gran humedad que se manifiesta en una gran cantidad de días nublados. Las precipitaciones son de origen frontal y se concentran en invierno aun así la estación seca puede durar de 7 a 8 meses como consecuencia de la influencia del anticiclón del pacífico. Las precipitaciones anuales varían entre 500 mm (región VI) en la parte norte (Figura 3b) hasta casi 800 mm en el sector sur (región VII). Entre los meses de mayo y agosto cae aproximadamente el 80% de

las precipitaciones anuales. Los meses de octubre a abril presentan menos de 40 mm de agua caída, definiendo así una estación seca que dura 7 meses. La mayoría de los cultivos de quinua de la macro zona centro se ubican cerca de la costa entre las localidades de Pichilemu e Iloca, con una extensión de 25 kilómetros al interior, bajo la influencia del mismo clima (Olguín, 2011).

Contrariamente, las zonas de cultivo más lejanas de la costa, después de la ciudad de Santa Cruz en dirección hacia la Cordillera, poseen este mismo clima pero sin nubosidad. Así, la zona ubicada en la depresión intermedia o en el valle longitudinal de esta región presenta las condiciones de este tipo de clima, mostrando claramente características mediterráneas con veranos cálidos y secos e inviernos lluviosos, frescos y húmedos. Las precipitaciones son algo menores que en el litoral pero las amplitudes térmicas tanto diarias como anuales son mayores. La diferencia de temperatura entre el mes más cálido y el más frío es del orden de 13° C en Rancagua y sólo llega a 8° C en la costa. También hay 7 meses con precipitación inferior a 40 mm, que van desde octubre a abril. La cordillera de la Costa limita el alcance de la influencia marítima, lo que se manifiesta en una menor cantidad de días nublados que en el litoral (Olguín, 2011).

Los datos climáticos generales de la macro zona centro son los siguientes: promedio de temperatura anual de 14,5°C, un promedio de las máximas de 21,5 ° C y un promedio de las mínimas de 7,5°C; humedad relativa de 73% y pluviosidad 700 mm.



**Figura 3b:** Diagrama Ombrotérmico General de la Macro zona Centro a partir del ejemplo de Paredones, *Clima mediterránea sub-húmeda Clima Templado Cálido con Estación Seca Prolongada*.

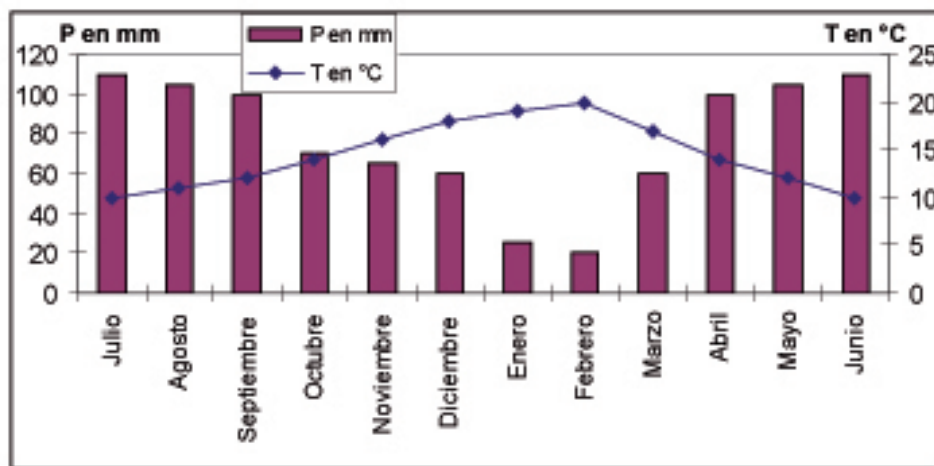
### La Macro zona Sur.

La macro zona sur de producción de quinua presenta características climáticas de dos tipos, la primera con un *Clima Templado Cálido Lluvioso con Influencia Mediterránea*, éste se presenta a partir de los 38° S principalmente en la zona intermedia hasta las cercanías de Castro, en la Isla Grande de Chiloé (Región X, de Los Lagos) aproximadamente a los 42° S. Este clima registra un régimen pluviométrico que alcanza valores promedios anuales de hasta 2.000 mm, con una distribución mensual, que registra sus valores máximos en los meses de invierno y una disminución en los meses estivales (Di Castri, *op. cit.*). Las amplitudes térmicas son de características moderadas en aquellas zonas ubicadas en la costa, aumentando hacia zonas ubicadas en el sector cordillerano. El segundo tipo de clima, *Clima Templado Cálido Lluvioso sin Estación Seca*, se localiza en la zona más austral. Las características pluviométricas de este clima presentan registros de precipitaciones casi continuos durante todo el año, las cuales alcanzan valores promedios anuales superiores a los 2.000 mm y en donde se presenta una distribución mensual significativa entre los meses comprendidos entre marzo y noviembre. Las temperaturas bajo este clima presentan amplitudes moderadas entre el día y la noche alcanzando valores de hasta los 5°C y registros medios anuales de casi 12°C.

El clima templado lluvioso con influencia mediterránea se presenta en la región con características que se hacen sentir a través de la

influencia oceánica, con registros moderados de la amplitud térmica en las zonas ubicadas en el sector costero (Figura 3c), en tanto en los valles longitudinales y las zonas precordilleranas las amplitudes térmicas anuales registran valores significativos debido a su lejanía de la costa y su mayor característica de continentalidad. Así, los promedios de temperaturas son de 11,5°C al centro (12,5°C en la costa y 8,5°C en la precordillera), el promedio de las máximas de 17°C (16,5°C y 16,5°C) y el promedio de las mínimas de 6°C (9,2°C y 1,0°C). La humedad relativa presenta una variación entre un 75% desde la costa hasta un 85% en la precordillera. Las precipitaciones registran una distribución a través de todo el año, observándose una leve disminución en sus registros mensuales en época de verano y alcanzando registros superiores a 1.000 mm anuales.

El clima templado cálido con estación seca corta, de menos de 4 meses se presenta en la zona intermedia de la región, ubicada en la parte norte hasta las proximidades de los 39°. A medida que se avanza hacia el sur las temperaturas disminuyen progresivamente. El régimen de lluvias presenta valores altos y homogéneos a lo largo de todo el año, con una ligera disminución en primavera. Los valores absolutos de precipitación alcanzan los 2.050 mm donde no existen registros inferiores a los 140 mm. La temperatura media anual es de 8,5°C y una oscilación térmica de 5 °C. El mes más frío presenta una media de 6°C (Julio) y el más cálido 12°C.



**Figura 3c:** Diagrama Ombrotermico General de la Macro zona Sur a partir del ejemplo de Lebu (Costa), *Clima Templado Lluvioso con Influencia Mediterránea*.

## Estado de la producción de quinua en Chile a partir de análisis censal.

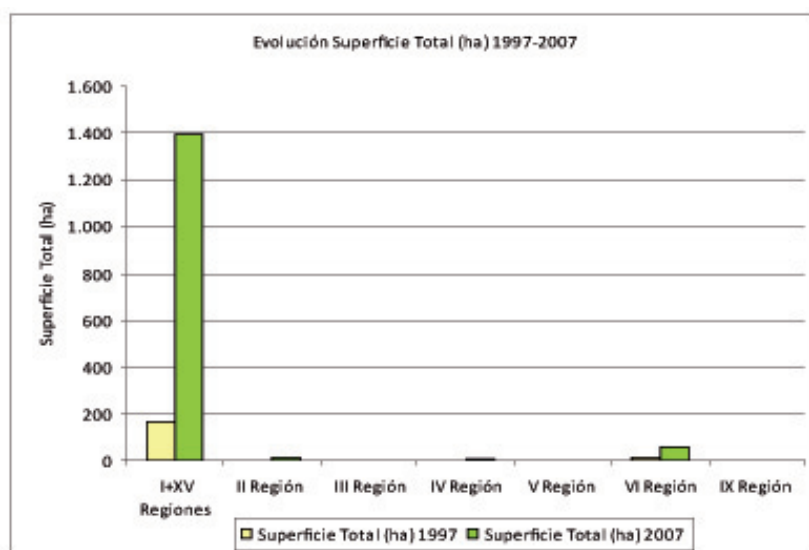
### *Evolución en el periodo 1997 – 2007.*

El cultivo de la quinua en las tres macrozonas de Chile ha tenido un crecimiento importante en los últimos quince años. Según los datos oficiales de los censos agropecuarios de 1997 y 2007, la superficie nacional creció en 736%, pasando de 175 hectáreas en 1997 a 1.470 has en 2007 (INE, 1997, 2007). Este incremento se focaliza principalmente en la Región de Tarapacá, donde se concentra más del 92% de la superficie cultivada. Más específicamente, las comunas de Colchane y Pica son las que más aportan a este crecimiento, con superficies de 749 has en 2007 (versus 163 en 1997) y 600 has en el año 2007 (sin registro de siembras en 1997), respectivamente. En menor medida, es posible observar un aumento en la VI Región con una superficie que aumentó de 11 a 60 has durante el mismo periodo. Adicionalmente, si bien con superficies muy discretas, se destaca la aparición censal en regiones como Atacama, Coquimbo (zona centro norte) y Araucanía (zona sur) (Cuadro 1 y Figura 4).

Es posible observar además un incremento del número de productores de quinua, el cual se duplica

durante este período, pasando de 119 productores en 1997 a 246 productores en 2007 (cuadro 1). Este aumento, proporcionalmente menor en relación a la superficie, se explica por una mayor superficie promedio por explotación, eso representa, una variación promedio de 1,5 has por explotación en 1997 a 6,0 has en el 2007, con un máximo de 46,2 has promedio por explotación en la comuna de Pica (zona norte).

Las estadísticas nacionales agropecuarias de Chile mencionan, según su metodología, solo las superficies y los agricultores por los cuales el cultivo de quinua es importante (en general los agricultores declaran solo las superficies que sobrepasan 1 ha). Peso a esto, es importante mencionar que las zonas centrales y sur de Chile, en particular a la Araucanía, como zonas tradicionales de cultivo de la quinua en manos de pequeños agricultores (centro) o por pequeños agricultores Mapuches (sur). Dada esta condición de pequeña agricultura, la representación de estas superficies no es registrada en las estadísticas nacionales. A pesar de esto, la pequeña agricultura en estas zonas hace parte integrante del mundo rural y moviliza a numerosos agricultores en la mantención de aspectos culturales e intercambio de semillas (Fuentes *et al.* 2012).



**Figura 4:** Evolución de la superficie total (has) de quinua, Periodo 1997 – 2007. Fuente: Qualitas AgroConsultores, a partir de INE 1997 y 2007.



### Caracterización de los actuales productores de quinua en Chile.

A nivel nacional, se registra una producción total de 868.5 toneladas de quinua, de los cuales un 91% corresponde a las comunas de Pica (59%) y Colchane (32%). El rendimiento promedio a nivel nacional es de 0.6 toneladas por hectárea. Si bien los mayores rendimientos se registran en las regiones de la Araucanía (IX) y del Libertador B. O'Higgins (VI), estos valores promedios son poco representativos dado que involucran superficies [conocidas por el censo] muy reducidas (menos de una hectárea en cada región). Así, en la región del Libertador B. O'Higgins se registran los rendimientos más altos

con un promedio de 1.2 toneladas por hectárea en la comuna de Pichilemu, mientras que la comuna de Colchane se registran rendimientos promedios de 0.370 toneladas por ha (0.6 a nivel regional), el cual representa los rendimientos más bajos en el país (Cuadro 1) (INE, 1997, 2007).

Al analizar el tamaño económico de las explotaciones con cultivo de quinua, se constata que son pequeñas<sup>1</sup> lo que significa que la producción de quinua corresponde principalmente en Chile a una agricultura familiar con superficies reducidas a nivel de cada uno de los productores.

**Cuadro 1:** Evolución del universo de productores, de la superficie, de la producción y de los rendimientos de quinua según comuna y región en el periodo 1997 – 2007

Región	Comuna	Nº Productores		Superficie Total (ha)		Producción y Rendimientos por regiones en 2007	
		1997	2007	1997	2007	PROD (t)	REND (t·ha <sup>-1</sup> )
XV de Arica y Parinacota y I de Tarapacá	Camiña	2,0	3,0	0,5	7,5		
	Colchane	101,0	153,0	162,7	749,0		
	Pica	-	13,0	-	600,0		
	Pozo Almonte	1,0	1,0	-	13,0		
	Huara	-	1,0	-	18,0		
	Putre	1,0	8,0	0,2	4,0		
	Total regional	105,0	179,0	163,4	1.391,5	800.8	0.6
II de Antofagasta	Calama	1,0	2,0	0,1	1,0		
	Ollagüe	1,0	5,0	0,3	1,0		
	San Pedro de Atacama	3,0	13,0	0,7	7,0		
	María Elena	-	1,0	-	1,0		
	Total regional	5,0	21,0	1,1	10,0	6.9	0.9

<sup>1</sup> Qualitas AC ha desarrollado un modelo de estimación del valor bruto de la producción de cada una de las explotaciones censadas, a partir del cual ha realizado una categorización y clasificación de las explotaciones según este variable. Más detalles, ver INDAP, Qualitas AC, 2009, Estudio de Caracterización de la pequeña agricultura a partir del VII Censo Nacional Agropecuarios y Forestal.

III de Atacama	Alto del Carmen	-	1,0	-	1,0		
	Total regional	-	1,0	-	1,0		
IV de Coquimbo	La Serena	-	1,0	-	0,5		
	Paiguano	-	1,0	-	0,5		
	Ovalle	-	1,0	-	0,5		
	Monte Patria	-	1,0	-	1,0		
	Río Hurtado	-	1,0	-	0,5		
	Coquimbo	-	3,0	-	1,0		
	Total regional	-	8,0	-	4,0	12	1.2
V de Valparaíso	Quilpue	-	1,0	-	0,1		
	Total regional	-	1,0	-	0,1		
VI de O'Higgins	Pichilemu	8,0	15,0	10,6	34,0		
	San Vicente	-	1,0	-	0,5		
	Navidad	-	1,0	-	0,1		
	Chépica	-	1,0	-	2,0		
	San Fernando	1,0		0,5	-		
	Paredones	-	11,0	-	24,0		
	Total regional	9,0	29,0	11,1	60,6	58	1
IX de Araucanía	Lautaro	-	2,0	-	1,0		
	Teodoro Schmidt	-	1,0	-	0,5		
	Curacautín	-	1,0	-	0,5		
	Vilcún	-	3,0	-	1,0		
	Total regional	-	7,0	-	3,0	1.6	1.6
Total Nacional		119,0	246,0	175,6	1.470,2	868.5	0.61

Fuente: Qualitas AgroConsultores, a partir de INE, 1997 y 2007.

En conclusión, a la diferencia de la situación existente en otros países de la zona andina donde la quinua es conocida como uno de los pocos cultivos que crece bajo las extremas condiciones ambientales del área, caracterizada por la alta altitud (3.500-4.000 m.s.n.m.), condición de aridez (100-300 mm por año) y de suelos salinos y frecuentes heladas, esta situación tiene similitudes en Chile únicamente con la macro zona norte del altiplano chileno. Allí, la producción está en manos de agricultores de avanzada edad, debido a que los jóvenes abandonan la agricultura en búsqueda de nuevas expectativas educativas y laborales (Fuentes *et al.* 2012). En la macro zona centro (sectores

costeros e intermedios entre San Fernando, Curicó y Linares), la quinua no es desconocida, y para algunos productores es uno de los cultivos que puede ofrecer una nueva perspectiva económica. En la macro zona sur (Región de Temuco), la quinua está presente por un 85% en las pequeñas huertas hortaliceras de las mujeres.

#### La quinua como parte de los sistemas agrícolas.

La metodología general del censo agropecuario del INE no revela la real diversidad en los sistemas de producción donde se encuentra la quinua a lo largo de Chile. Estas situaciones, geográficamente diversas, generan prácticas agrícolas distintas y

permiten la emergencia de variedades campesinas (esto es poblaciones heterogéneas del punto de vista genético pero estables del punto de vista agronómico respecto a la baja variabilidad de los rendimientos anuales), a partir de antiguos procesos de selección por los campesinos. Estudios de terreno durante 4 años (2008-2011<sup>2</sup>) fueron necesarios para aproximarse a conocer esta realidad de los campesinos y su manejo del cultivo, los cuales se describen a continuación.

En cada una de las macro zonas se han efectuado entrevistas semi dirigidas a los agricultores con el fin de comprender la importancia del cultivo de quinua en sus explotaciones y la gestión de sus variedades campesinas (equivalente a *land races* en inglés). La muestra de las explotaciones agrícolas analizadas representa la importancia del cultivo para las tres macro zonas: 31 agricultores en la macrozona norte (regiones I y II), 26 en la macrozona centro (región VI) y 34 en la macrozona sur (región IX). Un tratamiento estadístico de los datos (cuantitativos y cualitativos) nos ha permitido construir una tipología de los productores de quinua y árboles de decisiones por cada macro zona para explicitar los puntos más relevantes para las dinámicas de las variedades campesinas de quinua.

*La quinua de la macro zona norte: el manejo de la diversidad por los "tatas" (hombres mayores de 60 años).*

Los productores de quinua del norte chileno se encuentran en mayoría en las localidades de la comuna de Colchane, en el pueblo de Cancosa en la comuna de Pica y una minoría en la localidad de Socaire de la comuna de San Pedro de Atacama. La comuna de Colchane tiene la superficie más importante de la macro zona norte al representar un 3/4 de los agricultores en nuestros estudios. Colchane está ubicada a 3.800 msnm en el altiplano chileno y es una de las 8 comunas rurales de la primera región de Tarapacá, ubicada a 262 kilómetros de distancia de la ciudad costera de Iquique, Capital regional de Tarapacá. Un 99% de su población (1.649 personas) son de origen indígena, Aymara/Quechua y están organizados en

comunidades de vecinos (*ayllus*), lo que explica la presencia ancestral y el mantenimiento de la quinua como cultivo principal y la papa en segundo lugar (INE, 2002). Así, el sistema agropecuario de la zona está basado en estos dos productos y la ganadería de camélidos (llamas y alpacas) desde tiempos ancestrales (Arar, 2009). Las tareas agrícolas son realizadas mediante el trabajo comunitario o "*ayne*". El intercambio de productos con comunidades de otros pisos agroecológicos, como hortalizas en la precordillera, completa su estrategia alimentaria tradicional (Vidal, 2012).

Esta quinua todavía sigue siendo un cultivo con un manejo agronómico ancestral caracterizado por la ausencia de fertilización química (pero no es absoluto y emergen productores que están en proceso de intensificación de la producción), o de control de plagas y enfermedades, bajo nivel de mecanización en todo el proceso productivo, no existiendo tampoco selección de cultivares. La quinua es la actividad agrícola principal de la zona, no obstante, su promedio mayor de superficie es sólo de 3,6 hectáreas por agricultor en Colchane, 1 hectárea en Cancosa y menos de 0,25 hectáreas en Socaire. Las labores culturales para el cultivo de la quinua comienzan con la preparación del suelo (noviembre, diciembre y enero durante la rotación de parcelas, la cual se extiende hasta los meses de agosto/septiembre); la siembra se realiza en los meses de agosto/septiembre, con una concentración de esta actividad en el mes de septiembre, dependiendo de la acumulación de humedad en el suelo. La cosecha es temprana en Socaire (enero-marzo), comparativamente con zonas como Colchane (mayor concentración en abril-mayo). El sembrado, tradicionalmente se realiza manualmente y en profundidad (a veces hasta 30 cm) para aprovechar la humedad de la tierra hasta que las nuevas lluvias durante la temporada estén disponibles para sostener el desarrollo del cultivo (Lanino, 1976).

Por otro lado, los suelos recuperan su fertilidad gracias a la rotación de parcelas y a la complementariedad con la cría de llamas. Éstas, que se alimentan también de los residuos vegetales de la planta, aportan abono orgánico durante los años de barbecho (Arar, 2009). Una de las prácticas más comunes es la utilización de una gran diversidad de arquetipos de quinua según la exposición relativa

<sup>2</sup> Proyecto IMAS, ANR-Francia.

<http://imas.agropolis.fr/> y <http://www.quinua-chile.cl>

de las parcelas al frío y a las heladas (de preferencia de tipo roja o rosada). Estos tipo de quinuas se diferencian por sus colores de granos en primer lugar, adicionalmente existe también una segunda clasificación por tamaños de las plantas y de las panojas. Así las más comunes son los tipos: rojo (*lirio* en la lengua aymara), rosado (*canche*), blanco (*janku*), amarillo (*churi*), café (*chullpe*), rojo oscuro (*pandela*) y naranja (*pera*).

En nuestro estudio, todas las personas encuestadas declaran consumir quinua de manera regular, en sus diferentes preparaciones. La quinua tiene un papel importante en la tradición gastronómica de la zona altiplánica chilena, como lo demuestra la existencia de un gran número de usos culinarios. Cada tipo de quinua tiene particularidades que la hacen propicia para un plato específico: hay algunas variedades más aptas para la preparación de cazuelas o sopas, otras para graneado, pan o harina tostada (*pito*), o también para postres.

Durante el año 2008, existía un promedio de 2,4 variedades por agricultor a partir de un número de 9 caracterizadas a nivel de la comuna; lo que significa que la mayoría de los campesinos pueden asociar las características de sus variedades según su objetivo de producción, de consumo o de venta. Un 70% de los agricultores encuestados poseen más de un tipo de quinua, lo que marca la importancia de esta práctica de asociación para limitar el riesgo del medio ambiente. Casi todos los agricultores que tienen solamente un tipo de quinua siembran la *Blanca* debido a su color y características gastronómicas. En el caso de los agricultores que poseen dos o más tipos siempre tienen el tipo blanco en asociación con los demás.

Para investigar más en profundidad lo que es la biodiversidad agrícola de la quinua en el altiplano chileno (Cuadro 3), los resultados de las encuestas permitieron además identificar agricultores que siembran más de 3 variedades, dentro de los cuales un 17 % poseen 4 o más. De esta manera, estos agricultores son considerados “personas recursos” tanto por el conocimientos que poseen sobre las variedades locales que manejan y por la difusión de semillas que realizan en el territorio a través de sus redes socio-profesionales.

En conclusión, aunque los agricultores poseen un amplio conocimiento de los tipos de quinua, ninguno de los agricultores posee todos los tipos ni conoce toda la diversidad. Esto hace necesario promover la creación de dispositivos o espacios para compartir los saberes tradicionales y evitar así el riesgo consecuente de provocar erosión genética y pérdida del germoplasma de quinua conservado *in situ*. Adicionalmente, la práctica del cultivo de la quinua puede verse aún más comprometida, debido a la avanzada edad de los agricultores que están permanentemente presentes en la zona: los *tatas*, los cuales disponen de mano de obra familiar eventual (cosecha y siembra). Así, el sistema agrícola de la quinua está expuesto a un continuo cambio dinámico en su manejo, considerando además que aproximadamente un 25% de los jóvenes se queda en las zonas rurales del altiplano, con un aumento en la movilidad hacia las ciudades cercanas de Iquique y Arica. En consecuencia, lo anterior pone en peligro la disponibilidad de mano de obra para el manejo de la quinua; y por otra parte, el éxodo de las comunidades rurales influencia la evolución de las costumbres locales y la tradicional estructura de comunidad indígena que mantienen el actual conjunto de prácticas y variedades campesinas.



**Cuadro 3:** Criterios de manejo de la diversidad de quinua según las macro zonas de producción

	<b>Norte</b>	<b>Centro</b>	<b>Sur</b>
Número de variedades locales por explotación	3-5	1	1-3
Características generales de los arquetipos	ausencia o menor sensibilidad al fotoperíodo en el llenado de granos	sensibilidad al fotoperíodo	sensibilidad al fotoperíodo
Orígenes de las semillas	herencia familiar durante generaciones dentro de las comunidades, y ferias Aymaras con Bolivia o Perú	herencia familiar durante generaciones, trueque con vecinos y difusión con la Cooperativa de Paredones	herencia familiar durante generaciones, <i>Trafkintu</i> (Intercambio de semillas; Trueque) y programas de modernización agrícola
Mejoramiento	Selección de poblaciones rojas y amarillas con una base genética amplia (UNAP)	Búsqueda de variedades mejoradas por la Cooperativa las Nieves	Única variedad mejorada registrada de Chile : la <i>Regalona</i> de la empresa privada <i>Semillas Von Baer</i>
Vinculación entre los agricultores	Comunidades fuertes pero en competencia en torno al poder, conflictos de territorio.	Aislados	Comunidades fuertes con vínculos entre sectores de las regiones, lucha en torno a varios asuntos (forestal, agua)
Instituciones Públicas de extensión Rural  (Prodesal/INDAP)	Subsidios destinados a la ganadería	Apoyo técnico de base y subsidios para los fertilizantes	Difusión de variedades incluso la <i>Regalona</i>
Organizaciones de productores	Dos cooperativas que pueden orientar la venta basada en un enfoque sobre semillas específicas: orientación según la demanda del mercado. Limitaciones de las organizaciones nuevas para ofrecer un buen precio a los productores (ahora menos que en Bolivia).	Una cooperativa que tiene conflictos de interés con algunos productores porque pocos son socios y el precio varía entre los miembros y los que no lo son. Orientada únicamente a la exportación (disminución biodiversidad) con aumento del valor si hay certificación orgánica	Proyecto DAWE (con el CET-Sur) para una certificación campesina que conserve el valor de gran diversidad de semillas. Promoción del mercado local y valorización de la diversidad de semillas en los restaurantes

FUENTE: PROYECTO IMAS (ANR), 2010.

*La quinua de la macro zona centro: un producto de antiguos campesinos aislados.*

La quinua en esta zona sigue cultivándose en algunas áreas del secano costero de la región VI de B. O'Higgins y la región VII del Maule. A pesar de haber sufrido una reducción importante en superficie en las últimas décadas debido al aumento de la superficie destinada a las plantaciones forestales (coníferas), algunos agricultores han mantenido el cultivo de la quinua como tradición familiar en una zona donde los cultivos principales son el trigo, la papa y las leguminosas. La superficie destinada a la quinua puede ir desde únicamente algunas hileras hasta parcelas alrededor de 1-4 hectáreas (Alfonso, 2008). Los agricultores que siembran superficies grandes (alrededor de 10 hectáreas) son dueños de su tierra, el resto arriendan la mayoría de sus terrenos de explotación, si no, tienen convenios en los que pagan un porcentaje de su producción (mediería agrícola). Éstos pueden trabajar también fuera de sus explotaciones (empresas, industrias agrícolas, etc.) para completar su salario. Aquí se trata también, en su mayoría, de agricultores de edad avanzada (promedio 65 años) que cultivan un único tipo de quinua: la blanca. Ésta es adquirida aproximadamente en un 38% de los casos a través de la familia y, en un 46 % por medio de agricultores vecinos.

El secano costero de las sexta y séptima regiones de Chile poseen los índices de pobreza más altos del país. Las condiciones naturales de esta zona limitan el desarrollo agropecuario de este territorio, la cual registra precipitaciones que bordean los 650 mm anuales distribuidas en 5 meses, y condiciones de salinidad de suelos en áreas específicas contiguas a esteros; situación que conlleva la selección natural por parte de los agricultores de variedades campesinas que se adapten a estas difíciles condiciones. Es así como en las comunas de Paredones, Pumanque y Pichilemu de la región VI, un grupo de agricultores han podido tener ingresos importantes con la comercialización de la quinua gracias a una organización colectiva a partir de la Cooperativa Agrícola Las Nieves.

Cuando se indican los diversos cultivos en la explotación agrícola en esta zona, es necesario tomar en cuenta la siembra de cultivos como el trigo, maíz, cebada y avena, ya que estos son de importancia para los agricultores, debido a

la significancia que tienen estos en la superficie sembrada dentro de los predios. Así, en la comuna de Paredones se manifiesta el porcentaje más bajo de quinua con respecto a las demás comunas, esta solo posee un 34% de la superficie promedio sembrada con quinua, no así Pichilemu que alcanza un 61% y Pumanque con un 49% de representación en la superficie predial. Estos datos obtenidos en la comuna de Paredones, podría significar que los agricultores dan mayor importancia a productos que por costumbre han sembrado para ventas mayores, y la quinua se deja por lo general para el autoconsumo familiar y ventas menores a particulares. La comuna de Pichilemu por lo tanto, es donde los agricultores dan mayor importancia al cultivo de quinua, a pesar de tener el menor promedio de superficie por agricultor (3,03 hectáreas).

Considerando las distintas labores que realizan los productores de quinua en estas localidades, la preparación de la tierra se realiza en los meses de agosto hasta el mes de noviembre. La siembra se distribuye en los meses de octubre y noviembre y la cosecha concentradamente entre los meses de Febrero y Abril.

Los agricultores con mayor superficie destinada al cultivo de la quinua (28% de los productores), poseen una superficie promedio de 6,3 hectáreas por agricultor, privilegiando su producción por sobre otros productos llegando casi al 60% de su superficie cultivada. Este grupo posee mayor vínculo con la Cooperativa Agrícola Las Nieves, desarrollando la empresa Agrícola Las Nieves Limitada paralelamente a la misma cooperativa principalmente para fortalecer la venta destinada a la exportación, ya que esta entidad además puede adquirir volúmenes complementarios de quinua de pequeños agricultores de la zona. Un segundo grupo representa casi el 21% de los productores encuestados, los cuales dan una importancia fuerte al cultivo de quinua con la mitad de su superficie cultivada lo que significa rotaciones bianuales con cereales (trigo o avena) o papa. Sin embargo, en cuanto a la relación con la Cooperativa Agrícola Las Nieves, solo un 11% manifiesta tener lazos con esta entidad, explicándose en cierta medida por la opción de los agricultores de preferir vender en forma particular la producción a un mayor precio.

El 51% de los agricultores poseen una superficie

promedio no superior a 1 hectárea de quinua en sus predios. Los productores generalmente son dueños y heredan las tierras de sus padres. La producción es dirigida principalmente al autoconsumo familiar y en ocasiones, ventas al por menor a turistas o vecinos, por lo mismo tal producción no genera relaciones con la Cooperativa Agrícola Las Nieves.

A partir de la información recopilada, se pudo también determinar cómo los agricultores identifican su semillas, advirtiendo por parte de ellos que solamente existe solo un tipo, la quinua “blanca”, en todas las zonas de estudio, pero a la vez señalan distintos sinónimos (blanca, dorada, amarilla) para, según ellos, un mismo tipo de quinua. Así, la percepción que tienen agricultores sobre el cultivo de quinua es la de ser una única semilla en el área de estudio, pero con nombres distintos dependiendo de la localidad. El resultado de esta información entregada por los agricultores, llevó a realizar un análisis de las prácticas agrícolas desde el periodo de siembra hasta la cosecha, validando de esta forma la hipótesis de la existencia de varios caminos de selección por parte de grupos aislados de agricultores de la zona. Para lo cual se identificaron las fechas de las diferentes labores agrícolas del cultivo de quinua de cada agricultor de acuerdo a las tres comunas del área de estudio. A partir de los resultados, se pudo identificar que la cosecha se concentra principalmente entre los meses de febrero y abril. En Pichilemu, un 80% de los agricultores siembra en agosto para cosechar en el mes de enero, lo que permite plantear la hipótesis que todos los agricultores tienen el mismo tipo de quinua debido a la homogeneidad del comportamiento productivo del cultivo. En la comuna de Paredones, la siembra se realiza en su mayoría solamente en el mes de noviembre, sin embargo con dos tiempos de cosecha importantes. Aproximadamente un 33% en el mes de febrero y un 50% en abril, información que permite plantear la hipótesis de la existencia de al menos dos tipos de quinua, una precoz y otra tardía. Contrariamente, la siembra en Pumanque dura comúnmente cuatro meses (julio-octubre), con una distribución homogénea entre los agricultores (25% por cada mes), sin embargo la cosecha se concentra típicamente en el mes de abril (80%). Esta observación permite adicionalmente plantear la hipótesis de un solo tipo de quinua con un alto

coeficiente de fotoperiodismo. Adicionalmente al análisis de estas prácticas de manejo de cultivo, algunos agricultores seleccionan tipos de quinua con una mayor tolerancia al estrés salino, sembrando en tierras naturalmente invadida por aguas costeras salobres cerca de desembocaduras de ríos (Ruiz-Carrasco *et al.* 2011). Por lo tanto, la diversidad de manejo del sistema de producción de los agricultores de la zona central ha generado un alto nivel de biodiversidad de tipos de quinua basada en la dinámica de sus manejos de cultivo, el cual adicionalmente ha sido recientemente revelado por análisis genético moleculares (Fuentes *et al.* 2012). Pese a esto, la importancia reciente de la venta de sus semillas en la zona, podría repercutir negativamente en la potencial pérdida de diversidad genética, homogenizando la semilla en toda la zona para responder a potenciales necesidades de mercado.

#### *La quinua de la macro zona sur: una tradición en los huertos por mujeres Mapuches.*

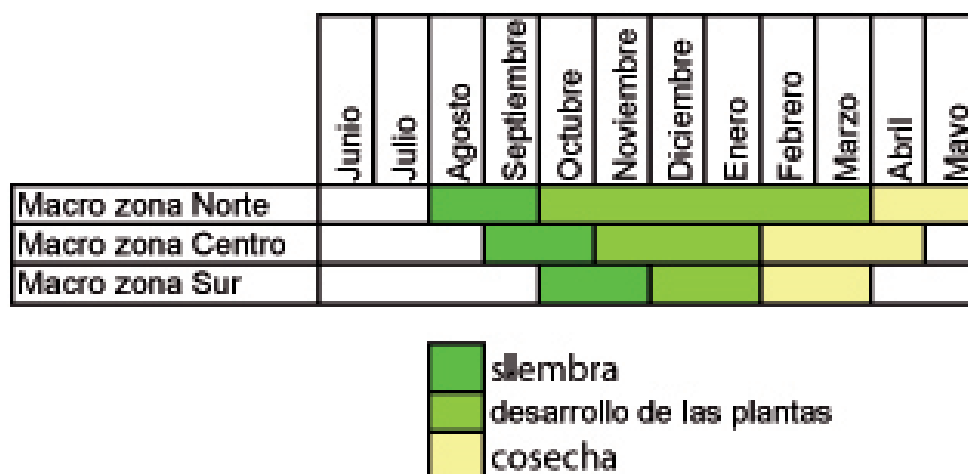
Actualmente la superficie de la quinua en el sur del país es reducida y su producción es realizada principalmente por las mujeres Mapuches, que la cultivan en pequeños huertos próximos a sus casas, junto con hortalizas, como ha sido costumbre en la zona, normalmente menos de 100 m<sup>2</sup>, pudiendo llegar a 0,5 ha (Aleman, 2009). Estas superficies no son comúnmente registradas en el Censo Agropecuario Nacional de Chile (Cuadro N°1), lo que explicaría el desconocimiento de su cultivo en el Sur. La quinua mapuche siempre se siembra en corrales o con abundante guano de corral. Esta característica no es común en otras regiones, donde la quinua está considerada como un cultivo que requiere de poco o casi ningún insumo para su desarrollo (fertilizantes, pesticidas, etc.). En los huertos, la quinua es asociada comúnmente con el cultivo del maíz, poroto y papas, protegiendo a estas últimas del fuerte sol en verano (Alfonso, 2008). La diferencia más relevante entre la quinua altiplánica y la *kinwa* o *dawe* en lengua mapuche, es que esta última se produce en zonas con mayores precipitaciones y menores alturas sobre el nivel del mar. Esto genera varias diferencias con respecto a la quinua de la macro zona centro, principalmente relacionadas a su adaptación medioambiental como cultivo en condiciones de secano, tipo de grano (color, tamaño), productividad superior y

fotoperíodo. (Anabalón y Thomet, 2009). Estas diferencias también se vinculan con un manejo diferencial respecto al manejo de la densidad del cultivo y a la profundidad de siembra por la escasa fertilidad y humedad. Así, en el Sur la quinua se siembra al voleo de forma superficial con alta densidad (Thomet *et al.* 2003).

Los diversos tipo de quinua que se encuentran en la zona provienen de una herencia familiar por generaciones, escapando de los diversos programas de modernización agrícola (Thomet y Bazile, 2013). Así, el sistema tradicional campesinos/indígenas en esta zona, es caracterizado por su gran diversidad de cultivos y de variedades campesinas, con distintos usos a nivel familiar o de la comunidad por ejemplo en el caso de la quinua: consumo en la alimentación, remedio para las aves, preparación de *mudai*,

bebida tradicional para celebraciones Mapuches, recomendada para mujeres embarazadas, así también como medicina (Alemán, 2009).

Adicionalmente a los usos tradicionales, se han desarrollado descriptores de interés para la caracterización de las variedades campesinas de quinua, entre estos destacan: color de la panoja, color del grano, días entre siembra-cosecha, tamaño de grano y número de semillas por gramo, densidad de panoja, valor nutritivo y aptitud de uso, entre otros (Sepúlveda *et al.*, 2003). Según la fenología del cultivo de la quinua en la macro zona sur, es posible clasificar los tipos de quinua del sur como precoces, en relación al tipo de quinua de la macro zona norte, fluctuando entre 68 y 80 días entre la siembra y la floración (130-150 hasta la cosecha) (Figura 5).



**Figura 5:** Características generales de los ciclos vegetativos de la quinua en las distintas macro zonas de producción en Chile. Fuente: *elaboración propia Bazile et al.*

Las fechas de siembras están asociadas a características del lugar como a las técnicas agrícolas empleadas (siembra mecanizada o siembra manual). La fecha de esta labor también tiene relación con la profundidad de siembra, la cual está asociada a las condiciones de humedad (1-3 cm). En suelos húmedos la siembra se establece más superficial y tardíamente, no obstante los rendimientos disminuyen de manera significativa a medida que se atrasa la siembra, por cuanto esta modalidad podría ser necesaria para evitar heladas tardías.

De manera interesante, la quinua cultivada en la macro zona sur, ha llegado a registrar rendimientos potenciales de 6.500 kg·ha<sup>-1</sup> en condiciones de huertos y con aporte de fertilización orgánica, lo cual contrasta con las condiciones de cultivo de la quinua en la macro zona norte, la cual posee rendimientos que fluctúan en promedio entre 180 a 640 kg·ha<sup>-1</sup>.

**La diversidad genética de la quinua chilena: un tesoro en las manos de los agricultores.**

La variada morfología que presenta esta especie en las principales macrozonas de producción de



cultivo, ha significado que los agricultores andinos (Aymaras), del secano costero de la zona centro y Mapuches en el sur, hayan aprovechado sus diversas formas para hacer uso de ella como alimento y otros. Por ejemplo se puede observar en los campos de cultivo de quinua, una amplia variedad de colores en plantas y semillas, o diferencias en los tipos de ramificación y/o arquitectura general de plantas, al mismo tiempo se puede observar una variada productividad de grano, y grandes diferencias en su fenología (Fuentes y Bhargava, 2011; Fuentes *et al.* 2012). Así, la importancia de la quinua como recurso genético implica además el desafío de comprender cómo estas variables pueden ser asociadas con caracteres de interés, tales como la producción de grano, contenido de saponina en los granos, elementos nutricionales, tolerancia al frío y/o resistencia a enfermedades para ampliar la base de sus potenciales nuevos usos.

De esta manera, el resultado combinado de investigaciones ha demostrado evidencias del movimiento ancestral de la quinua desde el sur de Bolivia hacia el altiplano norte de Chile y desde aquí a la zona sur. El análisis usando diferentes poblaciones de quinua provenientes de los Andes y zonas de baja altitud del sur de Chile, avalan la existencia de los dos tipos de quinuas existentes en el país, *ecotipo de salares* (altiplano) y *ecotipo de la costa* (centro-sur) (Figura 1) (Fuentes *et al.* 2009b, Miranda *et al.* 2012, Fuentes *et al.* 2012). Al mismo tiempo se ha podido constatar en el ecotipo de la costa un sistema mixto de autopolinización/polinización cruzada, como también la existencia de un activo complejo maleza-cultivo a partir de la caracterización de parientes silvestres (Fuentes y Zurita, 2013).

Hasta ahora, las recientes investigaciones usando aproximaciones genético moleculares respaldan algunas hipótesis respecto a las relaciones genéticas de la quinua en los Andes de Sudamérica (Christensen *et al.*, 2007; Fuentes *et al.*, 2009b; 2012), tal es el caso de aquella planteada por Wilson (1988), quien señala la colonización ancestral de la quinua en la zona sur de Chile, seguida de largos períodos de deriva genética, y por otra parte aquella que indica que poblaciones chilenas de quinua tienen su origen en el área sur del altiplano boliviano. Ambas hipótesis coinciden con la información reportada en estos estudios, los cuales muestran que quinuas

de la macro zona norte de Chile se encuentran estrechamente emparentados con variedades de quinua de Bolivia (*ecotipo de salares*) (Christensen *et al.*, 2007; Fuentes *et al.* 2009b). No obstante, existen también evidencias de la introducción de algunos materiales desde la zona andina de Perú en el altiplano de la región de Antofagasta (norte). Pese a ello, la morfología dominante en la mayor parte de los materiales estudiados en el extremo norte de Chile, corresponde a quinua de salares (Fuentes *et al.* 2009b, Fuentes y Bhargava, 2011).

Por otra parte, las relaciones genéticas antes descritas, coinciden con el sentido lógico de intercambio de germoplasma que debió existir entre los pueblos prehispánicos desde altiplano por el norte a tierras bajas por el centro y sur, que es el Chile de hoy, es decir Aymaras, Quechuas (altiplano entre 18°-24°S), Diaguitas (30°S), Picunches (32°-34°S), Pehuenches (35°-39°S), Mapuches y Huilliches (40°S); coincidiendo con un modelo de relaciones genéticas de norte a sur (Fuentes *et al.* 2012).

Por su parte, el germoplasma de quinua de la macro zona sur, ha sido descrito usando aproximaciones genético moleculares como mucho más diversos de lo creído y reportado hasta la fecha (Fuentes *et al.* 2009b). La mayor diversidad genética observada en quinuas del sur de Chile en relación a quinuas de la macro zona norte podría ser explicada por un sistema de polinización cruzada en quinuas de la costa en conjunto con poblaciones de malezas de *C. hircinum*. Esta última hipótesis explicaría en cierto sentido la dificultad experimentada por los mejoradores de quinua en la obtención de nuevos cultivares puros en la zona centro sur de Chile (I. von Baer, comunicación personal).

Adicionalmente el análisis de quinua del norte y sur de Chile han revelado la existencia de alelos de marcadores microsatélites compartidos, teniendo relación esto último con lo propuesto por Wilson (1988) y Christensen *et al.* (2007), quienes reportaron una mayor similitud genética entre quinuas del altiplano sur de Los Andes y quinuas del sur de Chile. Curiosamente, usando la misma aproximación molecular, ha sido posible observar que quinuas del norte de Chile (altiplano) presentan menor cantidad de alelos únicos a diferencia de quinuas del sur (costa) (Fuentes *et al.* 2009b). Esta última información a análisis de las

relaciones genéticas existentes entre *C. quinua* de la macro zona sur y parientes silvestres del género *Chenopodium* provenientes del sur y norte de Chile, demuestran similitudes a nivel de ADN nuclear y de cloroplasto entre *C. quinua* y *C. hircinum*, correlacionando con la hipótesis de que quinuas bajo condiciones de cultivo en el sur de Chile presentan un sistema de constante intercambio de información genética intra y/o inter específica, comprobando por primera vez indicios naturales de un activo complejo maleza-cultivo en la zona sur de Chile (Fuentes y Zurita-Silva, 2013).

Recientes trabajos de análisis sobre diversidad genética a nivel intra-predial en parcelas agrícolas en las diferentes macro zonas de quinua, comparando adicionalmente el efecto de la selección de semillas por parte de agricultores –(por ejemplo: masal, caso de la compañía de semillas AGROGEN), se pudo observar usando 3 loci microsatélites (QAAT78, QAAT74, QCA57; descritos por Christensen *et al.*, 2007), un promedio de alelos por locus, ponderado por número de individuos muestreados, de 0,56 en la macro zona norte, 0,7 en el centro; 1,13 en el sur y de sólo 0,2 en la representación de selección masal en la macro zona sur. A partir de este estudio, se confirma el concepto de diversidad genética en quinuas de Chile basado en aproximación genético molecular, cuya diversidad genética aumenta de norte a sur en el país, y que adicionalmente, procesos de selección de semillas, como es esperado, revelan una disminución de la diversidad genética poblacional (Martínez *et al.*, unpublished).

**Importancia de definir una estrategia colectiva de conservación *ex situ*: Conformación de la colección nacional chilena de quinua.**

A partir de la recolección de datos de biodiversidad de la quinua en Chile, se desprende la importancia de definir una estrategia colectiva para conservar el potencial de esta especie buscando una mejor complementariedad entre la conservación *in situ* y *ex situ* para disminuir el riesgo de pérdida de este germoplasma de interés nacional y mundial. No obstante, se plantea la pregunta de los derechos de los agricultores en cuanto a su acceso a largo plazo a su patrimonio ancestral en los bancos de semillas y también la prevención de las debilidades de una reproducción anual de sus semillas fuera de su ecosistema de origen sin manejo de la diversidad que incluya las prácticas campesinas.

La conservación *ex situ* se realiza mayoritariamente como semilla en los bancos de germoplasma del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La colección de quinua que mantiene el Banco Nacional de Germoplasma del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA, del Ministerio de Agricultura), que en total comprende 377 accesiones, está conformada por materiales colectados por la misma institución en 1994 y otros materiales de distinta procedencia colectados por diversos centros y organizaciones nacionales e internacionales (Cuadro 4) (Salazar *et al.* 2006; 2009).

Por otra parte, la compañía de Semillas Baer comenzó en 1968 a coleccionar y conservar muestras representativas de variedades campesinas locales y poblaciones de quinua cultivadas en el sur de Chile, dentro del marco del programa de mejoramiento genético que la empresa llevaba a cabo durante esos años (von Baer *et al.* 2009). En el año 2001, con la ejecución de un convenio de colaboración entre el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, la Asociación de Municipalidades y la empresa de Semillas Baer, se logró el duplicado de 85 accesiones, que son traspasados en custodia a INIA para su conservación a largo plazo. Esta misma empresa en el año 2008 realizó un nuevo traspaso a INIA de 77 accesiones más, también procedentes de la zona sur del país. La colección de la ONG CET-Sur, cuya conformación se inicia en el año 2000, complementó la colección de materiales de quinua que se cultivan al sur de Chile y que en total suman 192 accesiones, una parte de las cuales también son actualmente custodiadas por el Banco Nacional de Germoplasma de INIA (Madrid, 2011).

Colectas realizadas entre los años 2003 y el 2006 por instituciones como el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) y la Universidad Arturo Prat (UNAP) han contribuido a la conservación de muestras representativas de variedades locales cultivadas en la zona norte del país (de tipo altiplánico), que en conjunto con los materiales conservados por INIA, suman en total 121 accesiones (Madrid *et al.* 2001).

Asimismo, accesiones de quinua cultivadas en las zonas costeras de Chile central están representadas por muestras obtenidas en dos expediciones de colecta: una realizada entre los años 2005 y 2006 por el CEAZA y otra colecta reciente en el año 2010

realizada por el mismo organismo en conjunto con el CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Francia) a través del proyecto internacional de

cooperación científica con un total de 64 accesiones de quinua representativas de las macro zonas norte, centro y sur de Chile.

**Cuadro 4:** Conformación de la colección nacional de *Chenopodium quinua* conservada en la Red de Bancos de Germoplasma del INIA

Número Accesiones	Región de procedencia (Comunas)	Instituto recolector	Colector	Año recolección	Año ingreso al sistema INIA	Duplicado	Datos de Pasaporte
73	Región de Tarapacá, Iquique	INIA	A. Cubillos E.	1994	1994	No	Sí Sí
51	Zona Central, Chile	CEAZA	Martínez, E. Veas y P. Jara	2005-2006	2005- 2006	No	Sí
25	Región de Coquimbo	CEAZA	E. Veas		2006	No	Sí
85	Región de la Araucanía (Melipecuco, Padre las Casas, Vilcún, Cunco)	AGROGEN- Semillas Baer <sup>1/</sup>	I. von Baer	2001	2001	No? Sí	Sí
77 93	Región de la Araucanía (Villarrica)	AGROGEN- Semillas Baer	I. von Baer	2008		Sí (pero no todo)	Sí
accesiones de quinua y 9 de parientes silvestres	regiones de Tarapacá y Antofagasta	UNAP	F. Fuentes	2003	2009		Sí
13	Zona Central, Chile	CIRAD-CEAZA	D. Bazile	2010	2010	No	
24	Región de la Araucanía (Villarrica, Lumaco, Melipecuco)	CET Sur	M. Thomet	1999, 2005- 2009	2010	?	?

1/ Actualmente AGROGEN

Fuente: Elaboración propia Bazile *et al.*

La mayoría de las colectas de quinua han sido desarrolladas en el marco de proyectos de estudio y re-valoración de este cultivo en Chile. Por ejemplo, la colección de la empresa de Semillas Baer se hizo en el marco del proyecto *“Recuperación, Revalorización y Difusión del Cultivo y Uso de la quinua en cuatro Comunas de la Precordillera de la IX Región: Cunco, Melipeuco, Padre Las Casas y Vilcún”* financiado por fondos locales de los Municipios de los Programas PRODESAL y PRODER de INDAP y la empresa Semillas BAER. Las colectas realizadas por la Universidad Arturo Prat se han ejecutado en programas de estudios genéticos moleculares (Fuentes *et al.* 2009b), de selección y uso diversificado de su cultivo en el altiplano y Pampa del Tamarugal (Fuentes *et al.*, 2009c, Fuentes y Bhargava, 2011), financiados por instituciones nacionales como el Centro de Investigaciones del Hombre en el Desierto (CIHDE) y Fundación para la Innovación Agraria (FIA), y extranjeras como la Universidad Brigham Young (Estados Unidos). Asimismo, las colectas realizadas por el CEAZA en la zona central, específicamente en las regiones de O’Higgins y del Maule, han sido desarrolladas en el marco del proyecto *“Cultivo doble propósito de *Chenopodium quinua* (quinua) para la Región de Coquimbo: Modelo de grano para consumo humano y follaje para ganado caprino”*, financiado por Innova CORFO (2006-2008).

Todas las accesiones, hoy en día, están conservadas en el Banco Nacional del INIA de Vicuña. Así, el 100% de estos materiales está conservado en cámaras que permiten su conservación en el largo plazo. El 92% de estos cuenta con información de origen (datos de pasaporte) y sólo los materiales procedentes de donaciones de AGROGEN y la UNAP poseen duplicados.

Chile no cuenta con una normativa nacional que regule el acceso a los recursos genéticos conservados *ex situ*. El INIA desde 1995 y, a través de un mandato ministerial, actúa como Curador Nacional de los recursos fitogenéticos del país, con facultad para autorizar el acceso a dichos recursos. Sin embargo, dado que el proceso de acceso no es obligatorio son pocas las instituciones que reconocen las facultades de INIA en esta materia. En la mayoría de los casos la decisión de distribuir o no materiales es tomada por el investigador a cargo

de los mismos. La ausencia de una política común y de coordinación en el acceso a los materiales conservados *ex situ*, no sólo existe entre las distintas instituciones que conservan germoplasma vegetal, sino entre los distintos centros dentro de una misma institución que realizan esta práctica (Manzur 2003, Salazar *et al.* 2006). En el caso de INIA, la distribución está bastante condicionada respecto del tipo de material solicitado y del tipo de solicitante siendo, actualmente, bastante complejo el intercambio. El INIA formaliza la distribución de germoplasma a través de un acuerdo de transferencia de materiales donde se establecen las condiciones de acceso. En términos generales, se ha observado que la falta de un marco regulatorio en materia de acceso a los recursos genéticos limita la posibilidad de vinculación en trabajos de investigación entre las instituciones poseedoras del germoplasma y las que no poseen.

En general, los centros de conservación sin fines de lucro como los bancos de germoplasma son dependientes de aportes estatales, fondos institucionales y de la cooperación nacional e internacional, obtenida generalmente a través de proyectos de corto plazo, lo cual no garantiza su permanencia en el tiempo. La red de bancos de germoplasma administrada por el INIA fue construida e implementada en 1990 gracias al aporte del Gobierno de Chile y de la Agencia Internacional de Cooperación del Japón (JICA). El resto de las instituciones confecciona y mantiene sus colecciones con fondos obtenidos a través de proyectos presentados a los fondos concursables. Si bien existen varios tipos de fondos concursables, estos sistemas exigen, mayoritariamente, como resultado el desarrollo de productos de alto impacto económico. En términos generales el estudio y la conservación *ex situ* de los recursos fitogenéticos no es un tema priorizado por los fondos concursables nacionales (a pesar de los acuerdos internacionales firmados de conservación de la biodiversidad), por lo tanto el desarrollo de actividades como la prospección, la caracterización y la evaluación de los recursos fitogenéticos son obtenidos indirectamente a través de proyectos que incluyen dentro de sus objetivos secundarios a alguna de estas actividades. Es importante destacar que en el caso de la quinua, varios de los proyectos de investigación están relacionados



con la conservación *in situ* y su uso sustentable de los recursos genéticos, por lo tanto, hay una participación directa de las comunidades agrícolas en el desarrollo de estas propuestas. Sin embargo, y debido a una decisión gubernamental de apoyo al desarrollo de programas de mejoramiento de especies vegetales (*Chile potencial agroalimentario y forestal*), así como al rescate y valoración de especies y variedades tradicionales, actividades como la colecta y la caracterización son más factibles de realizar hoy en día.

### Conclusión.

En conclusión, queremos resaltar la importancia del cultivo de quinua en Chile para el desarrollo territorial, a pesar de ser considerado como un cultivo menor. Sin embargo hemos relevado que la quinua posee una amplia diversidad ecológica y de producción ocupando varios ecosistemas. Así, el cultivo de quinua abre nuevas perspectivas para el desarrollo territorial en Chile. Puede ser un complemento de ingreso importante para los productores familiares tanto del norte como del sur o centro del país. El cultivo de la quinua puede también ayudar en la rotación de parcelas para mejorar la estructura de los suelos. Sin embargo en el contexto del desarrollo sustentable, la gestión del cultivo de la quinua debería ser diseñada, de una parte, en función de las dinámicas de su amplia biodiversidad y de otra parte, teniendo en cuenta las relaciones verticales (necesidades y coherencia nacional) y horizontales (entre los actores locales). Podemos hablar así de una doble gestión vertical que debiera tener en cuenta la necesidad de dar coherencia a las situaciones del extenso territorio que va desde la región Aymara a la región Mapuche y horizontal o local donde la coherencia territorial debe traducir las necesidades de un desarrollo territorial durable con la participación del conjunto de los actores: agricultores y no-agricultores así como privados y públicos (Bazile *et al.* 2012).

La alta diversidad de ecosistemas en Chile, incluyendo el fotoperíodo, suelos y climas, han generado una alta diversidad genética de la quinua, por adaptación a la salinidad u otros tipos de stress. De este modo a nivel país, las variedades campesinas y la diversidad de prácticas por los agricultores de hoy son el resultado de un proceso que comenzó con las comunidades ancestrales que

habitaron el sur de los Andes miles de años antes de la llegada de los colonos europeos. La situación actual de la diversidad de la quinua es el resultado de dinámicas estrechamente vinculadas entre ecosistemas y culturas de estas zonas. Esto otorga una gran importancia a la quinua chilena, donde la amplia distribución geográfica y ecológica permite augurar su potencial de cultivo casi en todos los climas y condiciones del planeta.

De este modo tanto la agricultura familiar como los actores interesados en el mejoramiento tienen grandes oportunidades de continuar el proceso de creación de variedades locales, mejorando diversos aspectos agronómicos y nutricionales (Lutz *et al.*, 2013; Miranda *et al.*, 2013, Schlick y Bubenheim 1996) facilitada por sus rasgos de gran rusticidad.

La exposición de antecedentes relacionados al modelo de la diversidad genética de la quinua revela grandes desafíos para científicos, para mejoradores de este cultivo y para los propios campesinos, relacionándose por una parte al fomento de iniciativas que tengan por objetivo ampliar y mantener colecciones de germoplasma *in situ* y *ex situ*, tanto de quinua, como de sus parientes silvestres, al mismo tiempo de aumentar la caracterización de estos recursos a fin de contribuir a nuevos programas de mejoramiento genético (clásicos y participativos) y a revelar el poder real de las actuales colecciones de germoplasma.

Por otro lado, la demanda internacional de quinua es para una quinua orgánica y ahora representa un desafío particularmente grande para Chile si los agricultores quieren realmente entrar al mercado internacional de la quinua bajo estos criterios con certificaciones adecuadas para ser visibles por los compradores.

**Agradecimientos:** Los autores desean expresar su reconocimiento a los agricultores que han cuidado sus semillas y que nos confían sus historias, y a los proyectos que han permitido financiar las actividades de investigación presentadas BRG08, ICGEB-TWAS (CRP.PB/CHI06-01), IMAS (ANR07 BDIV 016-01), FONDECYT (1060281y 1100638), IRSES (PIRSES-GA-2008-230862), Innova Chile de CORFO (04CR9PAD04, BioTecZA 06FC01IBC-71 y BioaCu2+8CM01-12).

## Bibliografía

- Achkar M. (2005). Indicadores de sostenibilidad. En: Achkar, M., Canton, V., Cayssials, R., Domínguez, A., Fernández, G. y F. Pesce. Ordenamiento Ambiental del Territorio Comisión Sectorial de Educación Permanente. DIRAC, Facultad de Ciencias. Montevideo.
- Aleman, J. (2009) *Caractérisation de la diversité des variétés et des modes de culture du quinoa dans les communautés Mapuche du Sud du Chili*. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Univ. Montpellier Sup'Agro, Francia.
- Aleman, J., Thomet, M., Bazile, D., Pham, J.-L. (2009) *Dinámica de los flujos de semillas en la conservación de las variedades locales de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) en comunidades Mapuche de la región de la Araucanía (Chile)*. En: INIA, Proceedings VII Simposio de Recursos Genéticos para América latina y El Caribe, SIRGEALC. Pucón, Chile. Tomo 1, 2009, p. 459-460.
- Aleman, J., Thomet, M., Bazile, D., Pham, J.-L. (2009) *Impacto de proyectos de fomento del cultivo de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) sobre la conservación de las variedades locales en comunidades Mapuche de la Región de la Araucanía (Chile)*. En: INIA, Proceedings VII Simposio de Recursos Genéticos para América latina y El Caribe, SIRGEALC. Pucón, Chile. Tomo 1, 2009, p. 449-450.
- Alfonso D. (2008) *La gestion de la biodiversité par les paysans: Le quinoa au Chili*. Tesis de Master 2, Spécialité Recherche: Innovations et Développement des Territoires Ruraux. SupAgro-IAMM-UMIII-CIRAD, Montpellier-Francia.
- Anabalón R. L. Y Thomet I. M. (2009) Comparative analysis of genetic and morphologic diversity among quinoa accessions (*Chenopodium quinoa* Willd.) of the South of Chile and highland accessions. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, Vol. 1(5), p. 210-216.
- Arar M. (2009) *Análisis de estrategias de cooperativas Aymara y gestión de la biodiversidad de Quinoa*, ISARA-CIRAD, Lyon-Francia.
- Arenas J.; Lanino M. (2008) Antecedentes agros meteorológicos y evapotranspiración del sector Vilacollo, Comuna de Colchane. *Revista de Agricultura del Desierto*, 2008, N°4, p. 10-22.
- Aubertin, C.; Vivien, F.-D. (1998) *Les Enjeux de la Biodiversité*. Collection Poche Environnement. Economica, Paris.
- Ayala G., L. Ortega; C. Moron. (2001). Valor nutritivo y usos de la quinoa. En: FAO. quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Roma (Italia): Ediciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Bañuelos GS, Ajwa HA, Caceres L; Dyer D. (1999) Germination responses and boron accumulation in germplasm from Chile and the United States grown with boron-enriched water. *Ecotoxicology and environmental safety*, 1999, Vol. 43(1), p. 62-67.
- Bastías E., Alcazaz-López C., Bonilla I., Martínez-Ballesta M., Bolaños L.; M. Carvajal. (2010) Interactions between salinity and boron toxicity in tomato plants involve apoplastic calcium. *Journal of Plant Physiology*, 2010, Vol. 167(1), p. 54-60.
- Bazile D.; Fuentes F.; Mujica A. (2013) Historical Perspectives and Domestication. In: quinoa: Botany, Production & Uses. A. Bhargava, S. Srivastava (ed). CABI Publisher, Wallingford, UK. 2013, pp. 16-35. ISBN: 9781780642260.
- Bazile D. et Weltzien E. (ed) (2008). *Agrobiodiversités. Cahiers Agricultures*, Vol. 17 (2), p. 73-256.
- Bazile D.; J. Negrete (Coord.). (2009) quinoa y biodiversidad: ¿cuáles son los desafíos regionales? *Revista Geográfica de Valparaíso*, N° 42, p. 1-141.
- Bazile D., Chia E., y Hocde H. (2012). Le détournement d'instruments de politiques publiques de développement rural au Chili au bénéfice de la production du quinoa. *Reflets et perspectives de la vie économique (Tome LI)* : 35-56. <http://dx.doi.org/10.3917/rpve.512.0035>
- Bhargava A., S. Shukla; D. Ohri. (2005) *Chenopodium quinoa*, an Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, N°23, P. 73- 87.
- Bosque H., R. Lemeur, P. Van Damme; E. Jacobsen. (2003) Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.). *Food Reviews Internacional*, Vol. 19, p. 111-119.
- Brundtland, G. H. (1987) *Notre avenir à nous tous*. Commission mondiale pour l'Environnement et le

## Développement.

Camacho-Cristóbal J., Rexach J. A. González-Fontes. (2008) Boron in Plants: Deficiency and Toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2008, Vol. 50(10), p.1247-1255.

Castri di Francesco. (1968) Esquisse écologique du Chili. En: Delamare Deboutville C.. y RAPOPORT E. *Biologie de l'Amérique Australe*. Volume IV. Etudes sur la faune du sol. Documents biogéographiques. Extrait. Paris (France): Ediciones del Centre National de la Recherche Scientifique, p. 7-52.

Chevassus-Au-Louis, B.; Bazile, D. (2008) Cultiver la diversité. *Cahiers Agricultures*, Vol.17, N°2, p. 77-78.

Christensen S.A., Pratt D.B., Pratt C., Nelson P.T., Stevens M.R., Jellen E.N., Coleman C. E., Fairbanks D.J., Bonifacio A., Maughan P.J. (2007) Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinua* Willd.) using microsatellite markers. *Plant Genetic Resources*, N° 5, p. 82-95.

Delatorre J., Arenas J.; I. Lanino. (1995) Comparación Morfológica de nueve ecotipos de quinoa. *Revista de Horticultura Internacional*, Vol. 11, p.17-18.

Delatorre J., Salinas A.; Sánchez M. (Ed) (2008). Cultivo de la Quinoa, *Revista Agricultura del Desierto*, N° 4, p. 1-119.

Fuentes F.; Bhargava A. (2011) Morphological Analysis of quinoa Germplasm Grown Under Lowland Desert Conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 197: 124–134.

Fuentes F. F., Espinoza P. A., Von Baer I., Jellen E. N., Maughan P. J. (2009a) Determinación de relaciones genéticas entre *Chenopodium quinua* Willd del sur de Chile y parientes silvestres del género *Chenopodium*. En *Anales del XVII Congreso Nacional de Biología del Perú*: 45. Tacna, Perú.

Fuentes F.F., Martínez E.A., Hinrichsen P.V., Jellen E.N., Maughan P.J. (2009b) Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinua* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conservation Genetics*, Vol. 10 (2), p. 369-377.

Fuentes, F., P.J. Maughan; E. R. Jellen. (2009c) Diversidad genética y recursos genéticos para el

mejoramiento de la quinoa, (*Chenopodium quinua* Willd.). *Revista Geográfica de Valparaíso*, N° 42, p.20-33.

Fuentes, F. F., D. Bazile, A. Bhargava e E. A. Martínez. Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science*, 2012, N° 150: 702-716

Fuentes F. y Zurita-Silva A. Molecular studies. In: quinoa: Botany, Production & Uses. A. Bhargava, S. Srivastava (ed). CABI Publisher, Wallingford, UK. 2013. ISBN: 9781780642260.

Gandarillas, H. (1979) Mejoramiento genético. En: M.E. Tapia *et al.*, Quinoa y Kanihua, Cultivos Andinos. (Ed.). IICA, Bogotá, Colombia, 1979, p. 65-82.

Gonzales A. (1997) *Fisiología de la resistencia a la sequía en quinoa. Ecofisiología y morfología del estrés debido a factores adversos*. Primer Curso Internacional sobre Fisiología de la Resistencia a la Sequía en Quinoa, Proyecto Quinoa CIP-DANIDA y la Escuela de Post-grado de la Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrícolas de la UNA-Puno.

Harvey, D. (2005) *A Brief History of Neoliberalism*. Oxford's University Press, Oxford and NewYork(USA).

Harvey, D. (2001) Globalization and resistance in post-cold war Mexico: difference, citizenship and biodiversity conflicts in Chiapas. *Third World Quarterly*, Vol 22, N°6, p. 1045-61.

Hocdé, H., Sogoba, B., Bazile, D. y Lançon J. (2008) Tables rondes paysans chercheurs : simples échanges ou vrais débats ? *Cahiers Agricultures*, Vol.17, N°2, p. 222-230.

INDAP y Qualitas AC. (2009) *Estudio de Caracterización de la pequeña agricultura a partir del VII Censo Nacional Agropecuarios y Forestal*. Ediciones Qualitas AC, Santiago.

INE (2002) Estadísticas Nacionales de Población.

INE (1997). VI Censo Nacional Agropecuario.

INE (2007). VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal.

Jacobsen E.; A. Mujica. (1999) Quinoa: Cultivo con

- resistencia a la sequía y otros factores adversos. En: Primer Taller Internacional en Quinua: Recursos Genéticos y Sistemas de Producción. Proyecto Quinua CIP-DANIDA, Universidad Agraria, La Molina (UNALM), Centro Internacional de la Papa (CIP) y Universidad Nacional del Altiplano (UNAP). La Molina, Lima, Perú, Mayo.
- Jacobsen, S. E. y Mujica A.. (2002) Genetic resources and breeding of the Andean grain crop quinua (*Chenopodium quinua* Willd.). Plant genetic resources Newsletter, N° 130, p.54-61.
- Jarvis, D. E. (2006) *Simple sequence repeat development, polymorphism and genetic mapping in quinua (Chenopodium quinua Willd.)*. Thesis for Master of Science, Department of Plant and Animal Sciences. Brigham Young University. Utah. EEUU.
- Jellen E. N., B. A. Kolano, M. C. Sederberg, A. Bonifacio; P. J. Maughan. (2009) *Wild and Weedy Genetic Resources for Improving the quinuas (Genus Chenopodium L.). Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*. Ed. C. Kole. Springer- Verlag. Vol 4.
- Junge I. (1978) *La quinua y Lupinus en Chile*. Universidad de Concepción, Chile.
- Kaine, G. W.; Tozer, (2005) P. R. Stability, Resilience and Sustainability in pasture based grazing systems. Agricultural Systems, N°83, p. 27-48.
- Köppen W. (1931) *Grundriss der Klimakunde*. Ediciones De Gruiter, Berlin.
- Lanino, I. (1976) *La quinua: Cultivo del altiplano chileno, zona de Isluga*. Universidad del Norte, Sede Iquique, Chile.
- Leff, E. (2005) La Geopolítica de la Biodiversidad y el Desarrollo Sustentable: economización del mundo, racionalidad ambiental y reapropiación social de la naturaleza. En: Seminario Internacional REG GEN: Alternativas Globalização (8 al 13 de Octubre de 2005, Rio de Janeiro, Brasil). UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Rio de Janeiro, Brasil.
- Leidi E.; Pardo J. (2002) *Tolerancia de los Cultivos al estrés salino: ¿Qué hay de nuevo?* [en línea] <www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev2/5.html> [consulta: 20 Abril 2007].
- Looser, G. (1943) *Chenopodium quinua*, un cultivo que desaparece de Chile. Revista Argentina de Agronomía, Tomo 10, p. 111-113.
- Lutz, M., E. A. Martínez; A. Martínez. (2013) Daidzein and genistein contents in seeds of quinua (*Chenopodium quinua* Willd) from local ecotypes grown in arid Chile. Industrial Crops and Products, N° 49:117-121.
- Madrid D, (2011). Aportes de la geografía a la conservación ex situ de los recursos genéticos de importancia agrícola: el caso de la quinua en Chile. Mémoire présenté pour obtenir le titre de Géographe de l'Institut de Géographie de la PUCV, Valparaíso, Chili, 178 p.
- Madrid D., Bazile D., Martinez E.A., Negrete Sepulveda J. (2011). Herramientas de la geografía para mejorar la conservación de la biodiversidad agrícola. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*: 304-310.
- Manzur, M.I. (2003) *Experiencia en Chile de Acceso a Recursos Genéticos, Protección del Conocimiento Tradicional y Derechos de Propiedad Intelectual*. Santiago: Ediciones Fundación Sociedades Sustentables.
- Meadows et al. (1992) *Beyond the limits*. White River Junction, Chelsa Green Publ. Company.
- Miranda, M., Vega-Gálvez, A. Martínez, E.A., López, J., Rodríguez, M-J., Henríquez, K., Fuentes, F. (2012) Genetic diversity and comparison of physicochemical and nutritional characteristics of six quinua (*Chenopodium quinua* Willd.) genotypes cultivated in Chile. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* (ahora: Food science and Technology). N° 32, Vol. 4: 835-843.
- Miranda, M., Vega-Gálvez, A. Martínez, E.A., Lopez, J., Marin, R., Aranda, M., Fuentes, F. (2013) Influence of contrasting environments on seed composition of two quinua genotypes: nutritional and functional properties. *Chilean Journal of Agronomical Research*,. 73(2): 108-116. DOI: 10.4067/S0718-58392013000200004
- Molina, J.I (1810). *Ensayo sobre la historia Natural de Chile*. Libro III Vegetales de Chile.
- Munss R. (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*, Vol. 25, p. 239-256.



- Nable R, G. Buñuelos; J. Paull. (1997) Boron toxicity. *Plant Soil*, Vol. 193, p.181–198.
- Naredo, J-M. (1996) Sostenibilidad, diversidad y movilidad horizontal en los modelos de uso del territorio. En MOPTMA (ed.): *Ciudades para un futuro más sostenible*. Primer catálogo español de buenas prácticas. Comité Español Habitat-II. Madrid.
- Olcer H; Kocacaliskan I. (2007) Excess boron reduces polyphenol oxidase activities in embryo and endosperm of maize seed during germination. *Journal of Biosciences*, Vol. 61(1-2), p.111-5.
- Olguín P. (2011). Dinámicas espaciales de los sistemas de producción de quinua de la región del Libertador B. O'Higgins de Chile, con relación a los factores económicos y del medio ambiente. Tesis para el grado de Geógrafo, Instituto de Geografía de la PUCV, Valparaíso, Chile, 178 p.
- Parra F. (2007) La cultura del territorio: la naturaleza contra el campo. *Ciudad y Territorio, Estudios Territoriales*, Vol. XXXIX, N°151, p. 27-51.
- Rescia, A., Schimtz M. F., de Pablo C. T. L; Pineda F. D. (2002) Organización, dinámica y diversidad del territorio. En: Pineda, F.D., De Miguel, J. M., Casado, M.A. y Montalvo, J. (Eds.) *La diversidad biológica de España*. Prentice Hall, Madrid, Vol IV. Capítulo 9, p. 111-123.
- Sachs, I.(1997) *L'écodéveloppement*. Ed. La Découverte & Syros (Alternatives économiques), Paris.
- Salazar, E., Bazile, D., Martínez, E.A., y P. León-Lobos. (2009) *Conservación ex situ de los recursos genéticos de Maíz (Zea mays), quinua (Chenopodium quinua) Y Algarrobo (Prosopis chilensis) en Chile*. En: INIA, Proceedings VII Simposio de Recursos Genéticos para América latina y El Caribe, SIRGEALC. Pucón, Chile. Tomo 1, p. 433-434.
- Salazar, E., León, P, Muñoz, C; Rosas, M. (2006) Estado de la conservación ex situ de los recursos fitogenéticos cultivados y silvestres en Chile. *Boletín INIA*, N° 156, p. 1-180.
- Sánchez M., P. Espinoza, A. Zurita-Silva; J. Delatorre-Herrera. (2009) Las "variedades" Aymaras del Altiplano Chileno y el uso de la selección genética para generar nuevas variedades. *Revista Geográfica de Valparaíso*, Vol. 42, p.45–60.
- Schlick G; Bubenheim D.L. (1996) quinua: Candidate crop for NASA's Controlled Ecological Life Support Systems. En: Janick, J., Eds. *Progress in New Crops*, ASHS Press: Arlington, VA, USA, p. 632–640.
- Sepúlveda A.J, Thomet I. M, Palazuelos F. P; M.A. Mujica. (2003) *La Kinwa Mapuche, recuperación de un cultivo para la alimentación*. CET-Sur, Fundación para la Innovación Agraria (Ministerio de Agricultura), Chile.
- Serrano, E. C. (2005) La transformación de valores éticos en la interfaz del Estado y de Sociedad Civil y su importancia en el manejo de la biodiversidad, tierra y territorio – El caso del Parque Nacional Tunari en los Andes de Bolivia. En: Freddy Delgado, Juan Carlos Mariscal C. (editores). *Gobernabilidad social de las áreas protegidas y biodiversidad en Bolivia y Latinoamérica*. AGRUCO, PLURAL, Bolivia.
- Tagle M.B, Planella M.T (2002) *La quinua en la zona central de Chile: supervivencia de una tradición prehispánica*. Santiago: Ediciones Iku.
- Thomet M., Bazile D. (2013). The role of "curadoras" in the conservation of quinua varieties in the Mapuche communities in southern Chile. In: Coudel Emilie (ed.), Devautour Hubert (ed.), Soulard Christophe (ed.), Faure Guy (ed.), Hubert Bernard (ed.). *Renewing innovation systems in agriculture and food : How to go towards more sustainability?*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, p. 174-175.
- Thomet M., Sepúlveda J., Palazuelos P. (2003) Manejo Agroecológico de la kinwa. En: Sepúlveda J., Thomet M., Palazuelos P., Mujica M. *La kinwa Mapuche, recuperación de un cultivo para la alimentación*. Temuco: CET-Sur & Fundación para la Innovación Agraria (Ministerio de Agricultura), Chile, p. 44-94.
- Valdivia don Pedro de al emperador Carlos V. (1861) (Cartas de) *Colección historiadores de Chile*. Tomo I. Imprenta del Ferrocarril. Santiago de Chile.
- Vidal A, (2012). La valorización del patrimonio agrícola e identitario de las comunas Aymaras de Colchane a través del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinua* wild). Tesis de Geografía, Instituto de Geografía de la PUCV, Valparaíso, Chile, 278 p.

Von Baer, I., Bazile, D.; Martinez, E. (2009) Cuarenta años de mejoramiento de la quinua (*Chenopodium quinua* Willd.) en la Araucanía: Origen de “La Regalona-B”. Revista Geográfica de Valparaíso, Nº 42, p. 34-44.

Wilson H.D. (1988) quinua biosystematics II: free living populations. Econ. Bot., Vol. 42, p.478–494.

Zalabata L. (2003) Control sobre el territorio, la biodiversidad y las investigaciones en territorios indígenas de la Sierra Nevada de Santa Marta. Revista Semillas, Nº 19, p.4.

Zhu J. (2002) Salt and Drought Stress Signal Transduction in Plants. Annual Review Plant Biology, Vol. 53, p.247-73.

## CAPÍTULO: 5.5

## TÍTULO: ARGENTINA

\*Autor para correspondencia: Héctor Daniel BERTERO <bertero@agro.uba.ar>

**Autores:**

ALBERTO J. ANDRADE<sup>a</sup>, PILAR BABOT<sup>b</sup>, HÉCTOR DANIEL BERTERO<sup>c</sup>, SABRINA M. COSTA TÁRTARA<sup>d</sup>, RAMIRO N. CURTI<sup>e</sup>, MARCELA M. MANIFESTO<sup>f</sup>

<sup>a</sup> INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), EEA Abra Pampa, Jujuy, Argentina

<sup>b</sup> Instituto de Arqueología y Museo, Facultad de Ciencias Naturales e IML, Universidad Nacional de Tucumán y CONICET-ISES. San Martín 1545 (4000), San Miguel de Tucumán, Argentina

<sup>c</sup> Cátedra de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires y CONICET-IFEVA. Av. San Martín 4453 (C1417DSE), Buenos Aires, Argentina

<sup>d</sup> División Producción Vegetal, Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján. Ruta 5 y 7 s/n (6700), Luján, Buenos Aires, Argentina

<sup>e</sup> Cátedra de Diseño Experimental, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Sede Regional Sur Metán-Rosario de La Frontera, Salta, Argentina

<sup>f</sup> Laboratorio de Marcadores Moleculares, Instituto de Recursos Biológicos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

**Resumen:**

La presencia de la quinua en el país se extiende varios milenios atrás; sin embargo actualmente Argentina no se destaca como productores en la región andina. Existen referencias arqueológicas de uso por parte de cazadores recolectores en el altiplano de la provincia de Catamarca y hallazgos de semillas y tallos con grado variable de domesticación en distintos sitios de las provincias de Salta, Catamarca, Tucumán, San Juan y Mendoza. Con una extensión pasada estimada hasta las provincias de Santa Fé y Córdoba, actualmente se encuentra reducida a la zona andina, en el Noroeste del país (NOA) y parte de la Patagonia Andina, en Neuquén y Chubut. El interés reciente por su cultivo tiene una doble componente: comercial, por su rentabilidad en el contexto actual, y de rescate del patrimonio cultural de los pueblos indígenas del NOA y la Patagonia. Esto generó varios proyectos de producción comercial y de recuperación del cultivo, en algunas comunidades, ligado a la demanda gastronómica del turismo.

Pese al estrecho rango latitudinal (22°10' a 25°14') y longitudinal (65° a 67°31') de cultivo -en comparación con la distribución geográfica de la especie-, existe un amplio rango altitudinal (2334-4012 msnm) con amplia variación climática (<40 a >700 mm año<sup>-1</sup> de precipitación y 6-17 °C de temperatura media anual). Tal configuración genera una sustantiva diversidad ambiental ligada a una gran variabilidad genética y fenotípica fuertemente estructurada que fue corroborada por estudios moleculares y de caracterización morfo-genotípica. Estos estudios detectaron cuatro grupos genéticos: de altiplano, valles secos, valles húmedos y un ambiente de transición entre estos últimos. Estos grupos se relacionan con ambientes climáticamente semejantes en Bolivia, Perú, Chile, Ecuador y Colombia e indicarían una continuidad geográfico-ambiental en la distribución de estos grupos. Los estudios también permiten inferir que: i) una presencia prolongada del material permitió la diferenciación genética de poblaciones locales y ii) la variabilidad fenotípica existente proveería un

alto potencial de selección para múltiples atributos, entre los cuales la duración del desarrollo es el más variable y explica la adaptación diferencial.

### **La quinua antigua en el actual territorio de Argentina.**

La presencia de la quinua en el actual territorio argentino se extiende varios milenios atrás. Una década de interés renovado en su estudio, sumado a los trabajos pioneros de Hunziker (1943 a y b) y Hunziker y Planchuelo (1971), ha permitido reconstruir un panorama más acabado, aunque aún fragmentario, sobre su cultivo, procesamiento y consumo en el pasado pre-hispánico. Tales estudios han proporcionado hallazgos de semillas, fragmentos de tallos con distinto grado de domesticación y restos microscópicos de la planta en instrumentos antiguos que, en el país, se distribuyen ampliamente, desde el extremo norte en la Provincia de Jujuy, hasta San Juan y Mendoza en el área cuyana, pasando por Salta, Catamarca, Tucumán y Córdoba. La información disponible se asocia mayormente a los ambientes de Puna, Sierras y Valles, de clima árido o semiárido, aunque alcanza a las selvas orientales y los ámbitos chaqueños próximos, y depende en gran medida de las condiciones ambientales o micro-ambientales de preservación y de las técnicas de recuperación implementadas durante los trabajos arqueológicos.

Al presente, las primeras referencias de uso de quinua corresponden a grupos de cazadores-recolectores que habitaron la Puna de Catamarca hace aproximadamente 3500 años, quienes habrían iniciado el manejo de camélidos y al mismo tiempo desarrollaban una horticultura para consumo doméstico, sobre los 3600 msnm. Los hallazgos de tallos morfológicamente afines a los de quinua en el sitio Peñas Chicas 1.3 (Antofagasta de la Sierra) (Aguirre 2007) dan cuenta de la cercanía entre lugares de residencia cotidiana como este sitio, campos de cultivo y ámbitos en donde transcurrían las tareas posteriores a la siega de las panojas (Hocsman 2006). A partir de este momento, los fragmentos de tallos procedentes de los sitios Cueva Salamanca 1, El Aprendiz, Punta de la Peña 9 y Punta de la Peña 4, se jalonan con solución de continuidad en el tiempo hasta los 1440 años DC (Arias et al. 2013, Rodríguez et al. 2006), dando cuenta de una tradición local y sostenida de utilización y cultivo de quinua durante al menos tres milenios en el área.

Los espacios de elaboración de alimentos en los lugares de residencia cotidiana, basurales, pequeños depósitos de plantas y vasijas en escondrijos en los sitios de Antofagasta y en otros como Cueva Cacao 1 (e.g., Escola et al. 2013, Rodríguez et al. 2006, López Campeney com. pers. 2012, Olivera 2006, Pintar com. pers. 2012), han dado cuenta de semillas de quinua y de otros pseudo-cereales (*Amaranthus* y *Chenopodium* spp.) que acompañan las cronologías obtenidas para los tallos, entre el primer milenio AC y los tiempos de la colonia. En ocasiones, los granos se han recuperado junto a fragmentos distales de las panojas (ramificaciones de las inflorescencias, tallos floríferos, frutos aún insertos a ellos y envueltos en el perigonio), constituyendo restos antiguos de limpieza de la quinua posterior a la siega (Escola et al. 2013).

En distintos yacimientos del área puneña meridional que corresponden a grupos agropastoriles consolidados (Punta de la Peña 9, Punta de la Peña 12, Casa Chávez Montículos 1) -entre los 300-800 años DC- se han hallado instrumentos líticos con filos análogos a los de cuchillos-raederas modernos, de gran tamaño, que habrían servido en distintas tareas agrícolas, incluyendo la siega de panojas de pseudo-cereales, pues en sus filos se han preservado residuos microscópicos de plantas de quinua, cañawa (*Chenopodium pallidicaule*), amarantos (*Amaranthus* spp.) y de sus polillas predatoras (Escola et al. 2013). En ocasiones, estos instrumentos se han registrado en proximidades de los espacios que podrían haber estado destinados al cultivo en ambientes de altura de quinua, a modo de huertos de poca extensión, florísticamente muy diversos, como ocurre en el presente, situados en terrazas bajas, próximas a pequeños cauces permanentes. Instrumentos similares proceden de distintos sitios de los valles catamarqueños de El Bolsón, La Ciénega, Hualfín, El Cajón y Yocavil, aunque en estos casos aún no se han realizado estudios que documenten si pudieron servir al mismo propósito de siega de panojas de quinua que los registrados en la Puna. Tanto los cuchillos-raederas como los propios tallos cortados, posibilitarían pensar en un modo común de cosecha por corte del tallo a una cierta altura del piso, en lugar del arrancado de la planta completa. Ello evitaría la pérdida de suelo a la vez que beneficiaría las instancias de manipulación



posteriores a la siega. Al menos una estructura de trilla, similar a las halladas en el altiplano boliviano de datación precolombina, se ha documentado en el sitio Punta de la Peña 9 antes mencionado (López Campeny com. pers. 2012, Escola et al. 2013).

Aparte de los casos anteriormente citados para la Puna de Catamarca, los únicos registros altiplánicos de semillas de *Chenopodium* morfológicamente afines a quinua que se conocen al presente corresponden a granos carbonizados procedentes de espacios residenciales de los tempranos grupos agro-pastoriles de Salta. Uno de ellos es un basural de la aldea Matancillas 2 (San Antonio de Los Cobres), próximo al inicio de la era cristiana (Muscio 2004). El otro, aproximadamente 450 años más antiguo, se sitúa en los espacios residenciales de la cueva Puente del Diablo (Lema com. pers. 2013). Mas recientemente se identificó quinua en un alero próximo a la localidad del Angosto (Depto. Santa Catalina, Jujuy) en el límite con Bolivia y al sur de la Cordillera de López (Nielsen, com. pers.) Excepto por éstos, los datos restantes que se tienen para el Noroeste argentino corresponden al área de valles y quebradas, comprendidos entre los 2500 a 3500 msnm. Aquí se destacan, por su temprana cronología -de los primeros siglos de la era cristiana- semillas de *Chenopodium* spp. procedentes de espacios domésticos de los grupos productores valli-serranos que ocuparon Cardonal, en el Valle de El Cajón, Provincia de Catamarca (Calo et al. 2012). En un momento posterior, pero aún dentro del primer milenio DC, y cerca de los 750 años DC, se encuadra uno de los casos pioneros y mejor conocidos en el país, que fuera estudiado inicialmente por Hunziker (1943a).

Corresponde a semillas de quinua, *Chenopodium* sp., *Amaranthus caudatus* var. *leucospermus* y var. *alopecurus* y *Amaranthus* spp. dispuestas en el interior de una vasija como parte del acompañamiento mortuario en Pampa Grande, Serranías de Las Pirguas, ya dentro de las selvas orientales (Provincia de Salta). Posteriormente a esas fechas, y sobre los inicios del segundo milenio DC, deben citarse los casos de Alero Los Viscos, en el Valle de El Bolsón, Catamarca, de donde proceden semillas de *Ch. quinua* y de *A. caudatus* halladas en un basural dentro un espacio residencial; el de Cueva de Las Máscaras en el mismo valle (Korstanje 2005) y el de Cueva de Los Corrales, en el Valle de

Tafí (Provincia de Tucumán), en donde también se encontraron semillas de quinua, *A. caudatus*, *Chenopodium* silvestres y otras amarantáceas (Arreguez et al. 2013). Estos últimos constituyen los enclaves más meridionales y orientales del Noroeste argentino, respectivamente, que hayan proporcionado semillas de quinua antigua. Finalmente, los hallazgos de numerosos granos afines a quinua en distintos sitios del Valle Calchaquí Norte, en Salta (Puerta de La Paya, Cortaderas Bajo, Valdez y Potrero de Payogasta), contemporáneos a la ocupación Inka de este territorio, entre los 1520 y 1586 años DC (Lennstrom 1992), indican que tales circunstancias sociopolíticas no discontinuaron el uso regional de pseudo-cereales ni condicionaron el acceso al mismo por parte de distintos grupos sociales. De este modo, los enclaves puneños, de valles altos y sectores de selvas orientales del Noroeste que han dado cuenta de semillas y tallos de quinua, bosquejan un contrapunto regional sostenido en el tiempo que acompaña a los procesos iniciales de agriculturización y continúa hasta después de mediados del segundo milenio DC.

Fuera de los indicios proporcionados por los cuchillos-raederos y por los tallos cortados en la Puna meridional, los lugares de cultivo de quinua en esta región han resultado particularmente esquivos o no definitivos debido a la fragilidad y baja visibilidad de este registro en estructuras agrícolas arqueológicas o en sitios de vivienda próximos a aquellos. No obstante, el estudio de distintas evidencias microscópicas (polen y otros microfósiles) de *Chenopodium* y *Amaranthus*, han permitido realizar indagatorias que podrían sugerir la ocurrencia de tal práctica en faldeos de los valles altos catamarqueños, como en el sitio Morro Relincho (Korstanje y Cuenya 2008); en vecindad de Cueva de Cristóbal en la Puna Seca de Jujuy (Babot et al. 2012) e, inclusive, en sectores de monte chaqueño, próximos a las selvas orientales de esa provincia, en el sitio Moralito, descendiendo topográficamente hasta los 550 msnm, a inicios del primer milenio DC (Echenique y Kulemeyer 2001). Ámbitos transicionales como estos últimos habrían sido propicios para la diversificación vegetal, incluyendo a quinua, a partir de una modalidad de horticultura prehispánica caracterizada por la existencia de complejos silvestre-cultivado-

domesticado, en concordancia con los numerosos registros de semillas en los que dominan las asociaciones de múltiples pseudo-cereales (Lema 2010). Excediendo los límites geográficos del Noroeste argentino, los registros polínicos sugestivos del cultivo en chacras de quinua y de *A. caudatus*, alcanzan a las ocupaciones prehispánicas tardías de las Sierras de Centrales de Córdoba, similar a lo registrado en los documentos coloniales del siglo XVII (Medina et al. 2008).

Cuyo, en una posición más meridional dentro del territorio argentino, constituye un espacio en el que existe una fuerte señal arqueológica de semilla de quinua. Un número mayor de sitios que los reportados para el Noroeste ha proporcionado conjuntos de semillas desecadas y termo-alteradas, con cierta variación en su fenotipo. Asentamientos situados en faldeos elevados de la Cordillera frontal sanjuanina, entre los 2500-3500 msnm, tales como Gruta de los Morrillos de Ansilta, Vega de Los Pingos, Gruta Granero, Alero del Lagarto, Punta del Agua de Los Morrillos y Río Fierro, entre varios otros, dan cuenta del inicio de una agricultura de carácter doméstico en estos territorios australes, que incluía a la quinua, con una cronología inicial estimada en 500 años AC (Lagiglia 2001). Aquí, las semillas son tan tempranas como aquellas registradas en la Puna. Estos contextos corresponden a lugares de vivienda, de entierro o de culto en donde la quinua fue depositada como ofrenda o acompañamiento mortuario. Contemporáneamente, y como parte del mismo proceso de avance regional hacia la agriculturización, y entre los 400 años AC y los 200 años DC aproximadamente, tres sitios en los valles de la provincia de Mendoza han proporcionado registros tempranos de quinua o semillas morfológicamente afines a ella. Agua de las Tinajas I constituye un lugar de vivienda en el que, junto a las semillas, se recuperaron inflorescencias y tallos de *Ch. quinua* var. *quinua* y var. *melanospermum* y frutos de *Ch. chilense*, este último, interpretado como una posible maleza (Castro y Tarragó 1992, Bárcena 2001). Hallazgos similares procedentes de niveles inferiores (mas antiguos) podrían indicar una cronología anterior -desde aproximadamente 2000 años AC aunque aún incierta- para la quinua en esta región del noroeste de Mendoza (Bárcena 2001). En Agua de los Caballos 1, los ejemplares de *Chenopodium* sp., *Ch. aff. hircinum*, y *Amaranthus*

sp. descriptos, en cambio, han sido interpretados como elementos intrusivos que reflejan la flora local (Hernández et al. 1999-2000). El tercero de los sitios tempranos de Mendoza corresponde a Gruta del Indio, bien conocido por los estudios pioneros de Hunziker y Planchuelo (1971) (ver también Lagiglia 2001, Castro y Tarragó 1992). En este lugar de culto y entierro, numerosas semillas pudieron ser asignadas a las variedades *quinua* y *melanospermum*, a *Amaranthus caudatus* y *Amaranthus* sp., habiendo estado originalmente contenidas en una bolsa de fibra vegetal. Notablemente, este conjunto de semillas parece haberse mantenido en uso, durante el primer milenio de la era cristiana, por parte de grupos netamente productores cuyanos que ocuparon numerosos sitios de Mendoza, tales como Reparo de las Pinturas Rojas, Reparo del Salto del Morado, Cueva 1 del Cerro Negro del Escorial y Reparos de El Rincón, entre varios otros, cuya cronología alcanza los 640 años DC, aproximadamente (Lagiglia 2001, Bárcena 2001). En la provincia de San Juan existen referencias que se sitúan alrededor de los 700 a 950 años DC (Gambier 2002). Posteriormente a esto, la quinua permaneció en uso entre los agricultores del segundo milenio DC que habitaron el área hasta luego de la instalación española (Bárcena 2011).

Los usos tradicionales de la planta de quinua en el pasado prehispánico se sitúan en las raíces de prácticas que aún se mantienen activas en el Noroeste argentino. Nuestra comprensión de ellas se ha visto enriquecida a partir del estudio de restos microscópicos de su elaboración preservados en instrumentos arqueológicos, en muchos casos de los propios sitios del Noroeste argentino que han aportado semillas y/o tallos. Así, sabemos que, junto a los primeros usos del grano, se implementaron las rutinas tendientes a su de-saponificado. El tostado y el descascarillado se combinaron con la molienda para la obtención de harinas, que se transformarían luego en amasados o alimentos espesos, según se sabe a partir de microfósiles afines a los de las modernos *Ch. quinua* y *Ch. pallidicaule*, que perduraron en molinos, morteros y manos de mortero de los habitantes de la Puna de Catamarca y de Jujuy desde, aproximadamente, 12700-2500 años AC—en adelante (Babot 2011, Babot et al. 2012). Tales preparaciones ocurrieron también en los ámbitos valli-serranos, según el registro de

micro-restos afines a *Chenopodium/Amaranthus* en piedras de moler de agricultores del Valle de Tafí (Babot 2009). En Cueva de Cristóbal, Puna de Jujuy, las condiciones excepcionales de un conjunto de vasijas cerámicas fragmentadas han proporcionado evidencia de preparaciones tan antiguas como 1500-500 años AC, que incluían el uso del grano de quinua como ingrediente único, o bien en guisados o sopas espesas con maíz, y con tubérculos y maíz, y el uso de la hoja fresca, probablemente en sopas o ensaladas. Allí la presencia de hojas de quinua indicaría que las plantas crecían vecino al sitio en donde fueron colectadas (Babot et al. 2012). Restos microscópicos de las rosetas que resultan del tostado del grano de quinua en cenizas se han documentado en una vasija en el interior de una ofrenda en Antofagasta de la Sierra, alrededor de los 550 años DC (Babot et al. 2012). Estas rosetas se han recuperado en sitios puneños tales como Punta de la Peña 9 y Punta de la Peña 4 desde los 550 años DC, así como fragmentos aglutinados del perisperma, que indican residuos de preparaciones en medios húmedos. Así, las preparaciones culinarias con quinua se incorporaron como hábitos junto a las primeras vajillas cerámicas del Noroeste argentino, continuando con modalidades de consumo aún más antiguas en la región. Aparte de los usos culinarios, la producción y consumo de Ilipta, aditivo empleado en el coqueo, también tuvo lugar al menos desde el primer milenio DC según indican, por ejemplo, los restos de almidón de *Chenopodium/Amaranthus* termoalterados y mezclados con hueso calcinado en un pequeño molino del sitio Los Viscos, en el Valle de El Bolsón (Babot 2009) y aquellos que, junto a micro-restos de coca, proceden del propio tártaro dental de individuos inhumados en Antofagasta de la Sierra (González Baroni y Babot 2013).

Recapitulando, al considerar únicamente los hallazgos de semillas y tallos reportados al presente, éstos cubren una vasta extensión del territorio centro y noroccidental de Argentina. Tal territorio se extendía desde la Puna salteña por el norte y el Valle de El Bolsón, en Catamarca, al sur; entre Antofagasta de la Sierra, próxima al límite con Chile por el oeste y Pampa Grande y el Valle de Tafí, por el este. Considerando la evidencia microscópica, tal extensión se amplía hasta la Puna jujeña por el norte y, probablemente, hasta los

ámbitos chaqueños próximos a las selvas orientales de Jujuy por el este (quinua se cultiva en ambientes de tipo Chaco Serrano en valles al este y sur este de Tarija (e.g. Abra de la Cruz, Yesera Sur y Yesera Centro (Daniel Bertero, obs. personal). A esto se suman las Sierras de Córdoba, en el centro del país (Laura López, com. Pers.) . Esta podría ser una imagen más ajustada sobre la extensión alcanzada por el uso antiguo de quinua en esta parte de Argentina, desde sus inicios conocidos en torno a los 1500 años AC hasta el momento colonial. Tal continuidad temporal, levemente desfasada hacia el presente, también puede asumirse para el otro nodo geográfico al oriente de los Andes Centro-Sur en donde la quinua estuvo en uso, que corresponde a San Juan y Mendoza en el área de Cuyo. Este panorama aún fragmentario podrá ser completando a medida que progresen los estudios interesados en la recuperación sistemática de las distintas partes de la planta, de los que algunos ya se encuentran en marcha.

Para finalizar, al presente poseemos una mejor comprensión de numerosos aspectos referidos a la cronología y distribución espacial del cultivo, procesamiento y consumo de quinua en el actual territorio argentino en tiempos pre-hispánicos. Una de las problemáticas emergentes y en desarrollo en la actualidad, se refiere a la posibilidad de caracterizar mejor los procesos locales de selección y generación de variedades -que ocurrirían a partir de semillas arcaicas originalmente domesticadas en el altiplano boliviano- mediante métodos moleculares y micro-morfológicos aplicados a las arqueo-quinuas de manera comparativa en un largo período (Bertero et al. 2013). De manera concomitante, nos preguntamos cómo se relacionan los procesos que condujeron al uso temprano y la perduración de quinua en el tiempo, de modo parcialmente contemporáneo en el Noroeste argentino y en Cuyo. También, cuál es la vinculación de esos procesos antiguos con la distribución moderna y relictual de variedades criollas de quinua en el país, mas las razones históricas que condujeron a la pérdida de la práctica de su cultivo en el territorio argentino (hasta la situación de marginalidad registrada en el pasado reciente y el presente); aunque la memoria de sus usos cotidianos y rituales han perdurado (por ejemplo, Storni 1942). Otros emergentes corresponden a comprender mejor

en qué medida se segregaron distintas variedades de quinua, cuáles fueron los atributos fenotípicos de tales formas antiguas o transicionales y si formaron parte de un complejo mayor de plantas que incluía a otros pseudo-cereales, tales como las ajaras (*C. quinoa* spp. *melanospermum*), cañawa y los amarantos, probablemente compartiendo los espacios de cultivo en circunstancias de diversificación, fomento y tolerancia, diferente al tratamiento actual de quinua. Tal vez ello pudo ocurrir en razón de promover la diversificación (Lema 2010), o quizás por su empleo posterior en distintos usos alimenticios, forrajeros, medicinales y rituales, bajo lógicas que pueden divergir de las de su producción moderna. Sin dudas, más allá de las valoraciones nutricionales que le caben a quinua, el valor simbólico de este grano andino trasciende lo anterior, como una memoria perpetuada por milenios en este territorio al oriente de Los Andes, temprana simiente ofrecida a Pachamama en los bolsillos del difunto y el acullico del viajero.

### **Caracterización Molecular del germoplasma nativo de quínoa**

En las últimas décadas se llevaron a cabo estudios de las colecciones de germoplasma de quinua, inicialmente mediante descriptores morfológicos y, más tarde, con los marcadores moleculares. Estos son herramientas muy útiles que aventajan a otros sistemas de evaluación por su neutralidad al ambiente, su número ilimitado e independencia del estadio de desarrollo.

Los marcadores bioquímicos fueron la primera herramienta molecular utilizada para caracterizar germoplasma de quínoa (Wilson 1988). La variación en los patrones electroforéticos de 21 loci de isoenzimas -junto con datos morfométricos- se utilizaron para comparar 98 poblaciones de América del Sur. Ruas et al. (1999) y del Castillo et al. (2007) utilizaron Random Amplified ADN polimórfico (RAPD), no sólo para el estudio de la genética y las relaciones entre las diferentes accesiones de *Ch. quinoa* y especies relacionadas, sino también para evaluar la estructura genética de poblaciones de quinua del Altiplano boliviano. Luego, Anabalón-Rodríguez y Thomet-Isla (2009) utilizaron marcadores AFLP y descriptores morfológicos para caracterizar las variedades de quinua locales del Norte y del Centro de Chile. A partir del desarrollo

del primer grupo de marcadores microsatélites o SSR en quinua (Mason et. al 2005) se pudieron realizar estudios más detallados de la variabilidad genética. Estos marcadores son la mejor opción para los estudios de poblaciones, debido a su naturaleza co-dominante y su capacidad para detectar un alto nivel de polimorfismo. Se han utilizado en gran medida en varias especies para evaluar diversidad y estructura genética poblacional (Mondini et al. 2010; Asfaw et al. 2009; Naghavi et al. 2010). También se emplearon en la evaluación de la diversidad genética de la colección vivero de quinua de USDA (Departamento de Agricultura de los EE.UU.) y CIP-FAO (Potato Center International) internacional - que contiene entradas de Perú, Bolivia, Ecuador, Argentina y Chile, usando marcadores SSR (Christensen et al. 2007). Las entradas fueron clasificadas en dos grandes grupos: uno que incluye las pertenecientes a las tierras bajas de Chile, junto con un conjunto de entradas del USDA, mientras que el otro agrupa las de la Comunidad Andina. Se han realizado numerosas colecciones y estudios de germoplasma en países de la región andina (principalmente Bolivia y Perú), sin embargo estas no representan equitativamente a todas sus regiones de origen, siendo esto más notable para las entradas procedentes de Argentina. Esta región representa un punto extremo en la distribución del Complejo Andino, pudiendo proveer materiales con adaptaciones atípicas (Wilson 1988).

En el NOA, la quinua se cultiva actualmente en pequeñas parcelas, entre la latitud 22° y 27,5° S, y la longitud 65° y 67,5° W, como cultivo único o intercalado con maíz o papa (Brizuela 2010). La región presenta ambientes y paisajes contrastantes. Al Occidente, la subregión llamada Puna está formada por mesetas altas, con una altitud promedio de 3.500 m.s.n.m y presenta un clima árido con gran amplitud térmica, heladas frecuentes y lluvias escasas. Limita al este con la "Cordillera Occidental", que consiste en dos cadenas de montañas: la cadena Occidental con picos altos, algunos de ellos con nieves permanentes y clima árido, y la cadena Oriental con altitudes más bajas y clima más húmedo. Están separadas por valles, siendo la más importante la Quebrada de Humahuaca, que es la principal comunicación entre el altiplano boliviano y las tierras bajas del Este. La temperatura media mensual en esta zona varía en



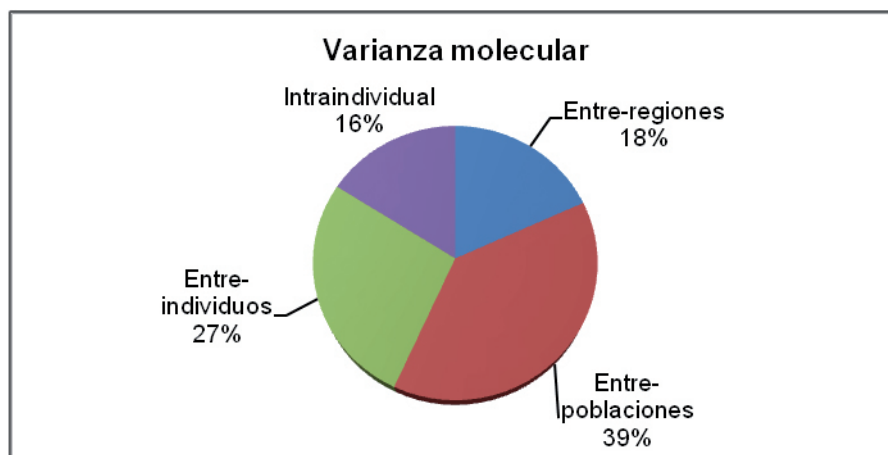
el rango de 7,5° a 16° C y las lluvias entre 150 a 200 mm por año. Hacia el sur hay un segundo valle seco llamado Valles Calchaquíes, climáticamente similar a la Quebrada de Humahuaca (Lorenzini et al. 1999 sección inDiPPEC, <http://www.dippec.jujuy.gov.ar/clima.html>) (Curti et al. 2012). Esfuerzos prolongados de investigación y mejoramiento en países como Bolivia y Perú, y de acciones de promoción en EEUU, Europa y Japón (más notables a partir de la década del 90) condujeron a un aumento importante de la demanda internacional y de la producción comercial de este cultivo (Risi et al 1984; Aroni, 1999). En Argentina también se observó esta tendencia de interés creciente en base a dos componentes: comercial, por su rentabilidad en el contexto actual, y de rescate del patrimonio cultural de los pueblos del NOA, que implica la recuperación del cultivo en algunas comunidades, en parte ligada a la demanda gastronómica del turismo.

Frente a la posibilidad de que quínoa vuelva a ser un cultivo de importancia para agricultores del NOA, se planteó la necesidad de generar conocimiento para su utilización y valoración, frente a los riesgos simultáneos provocados por el abandono de cultivo en algunas zonas y la promoción de variedades exóticas en otras en pos de una mayor producción; ésta situación -crítica *per se*- impulsó a realizar un relevamiento del germoplasma local y abordar estudios de distribución de la diversidad genética y esfuerzos de colección en el marco de un proyecto financiado por la SAGPyA (Bertero 2004);

mas ejercicios de recuperación de materiales conservados en otros países (Bolivia, Perú y EEUU) que han permitido generar una colección de germoplasma nativo del NOA; uno de ellos (MINCyT, PICT Cultivos Andinos) abordó la especie en tres aspectos (morfo-fenológico, nutricional y genético), y exploró la diversidad de quínoa del NOA mediante marcadores moleculares.

### Estructura de la variabilidad genética de quínoa en el Noroeste de Argentina

La colección de quínoa nativa del Noroeste Argentino consta de ~ 90 accesiones, colectadas en toda la región de cultivo abarcando la variabilidad de ambientes ante-mencionada, e incluye formas cultivadas (la mayoría), silvestres (ajaras) y formas intermedias sin identificación precisa. Costa Tártara et al. (2012) es el primer trabajo que describe la variabilidad genética presente en el germoplasma del NOA. A partir de la colección de quínoas nativas se seleccionaron 35 accesiones, representativas según el ambiente de origen. Se las caracterizó utilizando 22 marcadores SSR seleccionados de Mason et al. (2005) y Jarvis et al. (2008) en base al éxito obtenido en la amplificación, la claridad de los patrones visualizados y el nivel de polimorfismo detectado con cada marcador. Los resultados obtenidos evidenciaron una alta variabilidad genética dentro de la colección, superior a aquella de la colección CIP-FAO (Christensen et al., 2007) y chilena (Fuentes et al., 2008), presentando fuerte estructuración. El análisis de varianza (AMOVA) mostró claramente la distribución de la variabilidad en diferentes niveles jerárquicos (Figura 1).

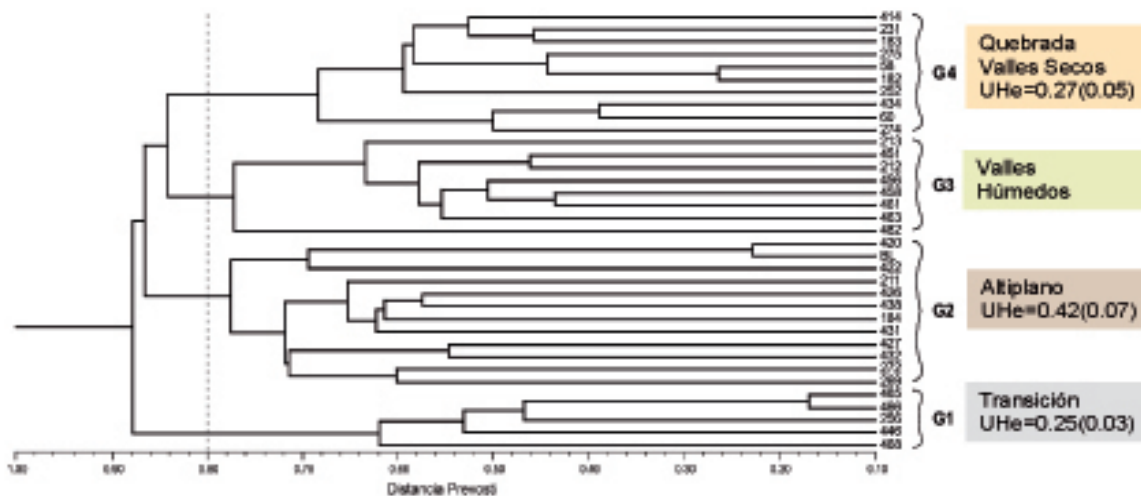


**Figura 1:** Porcentajes de la Varianza Molecular en cada nivel jerárquico.

Según los valores de los índices de Fijación, hay un grado de estructuración debido a la división en regiones ( $F_{ST} = 0,18$ ). De acuerdo a la escala cualitativa citada por Wright (1978), el  $F_{ST} = 0,57$  indica gran diferenciación entre las poblaciones. Los valores de  $F_{IS}$  (0,63) y  $F_{IT}$  (0,84) indican una deficiencia de genotipos heterocigotas, en relación a lo esperado en cada sub-población y a la población total, respectivamente (valores de  $F$  estadísticamente significativos, test de permutaciones ( $p = 1000$ )) (Peakall & Smouse, 2006). La alta diferenciación entre poblaciones refleja un flujo escaso de genes, acentuando procesos de deriva génica, además de una débil influencia de actividades relacionadas con intercambios recientes, y es consistente con una hipótesis de prolongada historia de cultivo en la región y la conservación de semillas en manos de agricultores por muchas generaciones. El grado de variabilidad genética del germoplasma local y su estructura

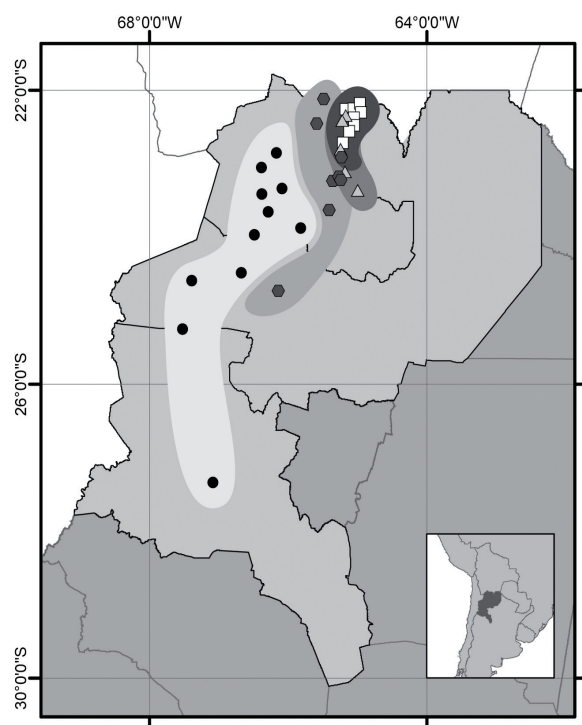
en la región del NOA contradicen un argumento frecuente entre investigadores y agrónomos que sugiere que el germoplasma encontrado en Argentina corresponde a introducciones recientes desde Bolivia. Aunque el intercambio de semillas existe, no se detecta aún influencia alguna sobre el germoplasma local.

El análisis de agrupamientos de las poblaciones nativas, según la distancia genética entre ellas, definió cuatro grupos (Figuras 2 y 3) donde se ven representados los cuatro ambientes. El nivel de variabilidad genética mostró un gradiente creciente en dirección este – oeste, siendo las poblaciones del Altiplano (G2) las que presentaron mayor diversidad. La mayor homogeneidad de paisaje y el aislamiento de los Valles Orientales sugieren procesos acentuados de deriva génica, consistente con la menor diversidad genética observada (Costa Tártara et al., 2012).



**Figura 2:** Análisis de agrupamiento de poblaciones nativas (UPGMA), UHe diversidad genética, entre parentesis SE (adaptado de Costa Tártara et al., 2012)

El Análisis de Coordenadas Principales (ACoP) obtenido a partir de la caracterización molecular corroboró el agrupamiento obtenido por UPGMA, observándose el ordenamiento en los mismos cuatro grupos.



**Figura 3:** Localización geográfica de origen de 35 poblaciones de quínoa nativas del NOA. Los diferentes símbolos y colores muestran los cuatro grupos principales, representando cuatro ambientes contrastantes de la región: (círculos) Altiplano (G2); (hexágonos) Valles secos (G4); (triángulos) zona de Transición (G1) y (cuadrados) Valles Orientales húmedos (G3).

#### **Caracterización y evaluación de la colección de germoplasma de quínoa del Noroeste Argentino en base a atributos morfológicos y agronómicos**

La caracterización y evaluación de las colecciones de germoplasma permiten conocer el tipo de material de que se dispone a través del estudio de la cantidad y estructura de la variabilidad genética y de la identificación de las accesiones con atributos deseables para su posterior uso en los programas de mejoramiento (Franco e Hidalgo 2003). La caracterización y la evaluación resultan de describir las accesiones del germoplasma por sus varios atributos (morfológicos, fisiológicos, agronómicos, etc.). A continuación se exponen los avances logrados en relación con estos dos aspectos sobre la colección de germoplasma nativo de quínoa del Noroeste Argentino (NOA).

#### **Magnitud y estructura de la variabilidad fenotípica**

El germoplasma nativo de quínoa del NOA es altamente diverso a nivel fenotípico reflejando la variación en el ambiente de origen. Las accesiones de quínoa de la región del NOA presentan amplia variabilidad en atributos morfológicos y fenológicos, ésta es promisoría desde el punto de vista del mejoramiento genético debido a que podrían ser usadas en sus programas para obtener variedades cuyo desarrollo pudiera ajustarse de manera de evitar exponer los períodos más sensibles a heladas y sequías, dos de los factores más importantes que afectan la producción local del cultivo (Geerts *et al.* 2006, Pouteau *et al.* 2011, Winkel *et al.* 2011). Por otro lado, la variación en características morfológicas cuantitativas es relevante para futuros estudios de nuevas accesiones de quínoa del NOA o de otros países, debido a que están asociadas con el sitio de origen o altitud de las accesiones y son consistentes con la variación observada en caracterizaciones previas de colecciones de Perú, Bolivia y Chile (Gandarillas 1968, Risi y Galwey 1989a,b, Ortiz *et al.* 1998, Rojas 2003, Rodríguez e Isla 2009, Fuentes y Bhargava 2010).

Los resultados de un estudio sobre la estructura de la variabilidad fenotípica aportaron información eco-geográfica importante para la especie, en una región para la cual existía escasa información (Jacobsen y Mujica 2002). De acuerdo a los análisis multivariados sobre atributos morfológicos, las accesiones nativas de quínoa del NOA se agruparon en cuatro grupos: Zona de Transición (G1), Altiplano (G2), Valles Orientales Húmedos (G3) y Valles Secos (G4) claramente diferenciados y asociados con su origen o altitud (Curti *et al.* 2012), y es congruente con el estudio de caracterización molecular mediante SSR (microsatélites), efectuados sobre el mismo conjunto de accesiones (Costa Tártara *et al.* 2012). En este sentido, el patrón de variabilidad observado dentro de la colección fue similar al de otras colecciones de germoplasma de la especie (Risi y Galwey 1989 a,b; Ortiz *et al.* 1998; Rojas 2003; del Castillo *et al.* 2008) y es expresión de la estructura genética subyacente (Costa Tártara *et al.* 2012). Los cuatro grupos reconocidos podrían presentar similitudes con aquellos propuestos por Rojas (2003) en las accesiones de origen altiplánico y valles húmedos de la colección de Bolivia (e.g. G1 (altiplano sur), G4 (altiplano norte) y G7 (valles de

altura)). Esta correspondencia sugiere que procesos similares de diferenciación genética podrían haber afectado a quínoa a lo largo de la región sur-andina y que los gradientes de aridez y heladas observados podrían ser un factor principal en la diferenciación ecotípica (Curti *et al.* 2012).

*Caracterización de la respuesta a la temperatura y el fotoperíodo de accesiones de quínoa del NOA*

La agricultura en la región andina del NOA está expuesta a diversos factores climáticos adversos como sequía y heladas que dificultan el desarrollo agrícola de la región (Bianchi *et al.* 2005). La mayoría de los productores de quínoa del NOA son pequeños o medianos agricultores que tradicionalmente usan pocos insumos en su producción. Así, la capacidad del cultivo para proveer seguridad alimentaria local depende en gran medida de su adaptación agro-ecológica a las condiciones climáticas (Aguilar y Jacobsen 2003). Consecuentemente, dentro de la región del NOA ha evolucionado una gran diversidad de germoplasma que muestra adaptación a diferentes patrones climáticos locales como los observados a lo largo de las cuatro ecorregiones donde se cultiva la especie en el NOA (Curti *et al.* 2012).

Un estudio llevado a cabo con 11 accesiones nativas del germoplasma de quínoa del NOA mostró que la duración del desarrollo explica una parte importante de la estructuración de la variación fenotípica, y un análisis de la variación en tiempo a floración entre fechas de siembra detectó tres grupos fenológicos: precoces de altiplano, intermedios de valles secos y tardíos de valles húmedos, con fuerte control genotípico (alta relación G/GxA) de la variación. Con el objetivo de evaluar el impacto del fotoperíodo sobre la duración del tiempo a floración (yema floral visible) se condujo un experimento incluyendo seis accesiones pertenecientes a esos tres grupos fenológicos que fueron expuestas a tres fotoperíodos (natural (~12 hs), 15 y 18 hs) bajo condiciones de campo en la Facultad de Agronomía (UBA). El ranking de duración desde emergencia hasta yema floral visible fue semejante a aquel en origen, y todos los genotipos mostraron sensibilidad al fotoperíodo con una respuesta de día corto cuantitativa. Se encontró una importante variación entre genotipos en la sensibilidad al fotoperíodo para el tiempo a yema floral visible,

desde 4,7 a 30 °Cd h<sup>-1</sup> (Tb = 3° C), y esta sensibilidad mostró una estrecha asociación negativa con la altitud de origen (R<sup>2</sup>= 0.98). El valor más alto de sensibilidad corresponde a una accesión de valles, y es semejante a la cuantificada previamente para genotipos de valle de Perú y Ecuador y de altiplano de Perú, pero menor a la de la variedad Nariño, de Colombia (60 °Cd h<sup>-1</sup>) y el menor valor, observado en una accesión de altiplano, es inferior a aquel estimado en variedades de Nivel del Mar (12 °Cd h<sup>-1</sup>, variedad Baer) en el centro de Chile (Bertero *et al.* 1999; 2000). Dado que los genotipos respondieron al fotoperíodo en todo el rango explorado no se pudo estimar el valor del fotoperíodo umbral y la duración mínima de la fase (esta última un estimador de la sensibilidad a la temperatura), pero la variación observada entre genotipos bajo fotoperíodo natural (200-543 °Cd) sugiere que existe variación también para este atributo.

*Patrones de interacción genotipo por ambiente dentro del germoplasma nativo*

La región de cultivo de quínoa en el Noroeste de Argentina (NOA) presenta una fuerte variabilidad ambiental, tanto estacional como espacial. En consecuencia, las combinaciones sitio-año en que se establecen ensayos comparativos de rendimiento pueden complicar la elección de genotipos a través de fuertes interacciones genotipo por ambiente (GxA). En un estudio donde se condujeron seis ensayos multi-ambientales de comparación de rendimiento con un conjunto de 12 genotipos seleccionados de la colección de germoplasma se detectó una fuerte variación entre genotipos y ambientes para rendimiento en grano, sus determinantes fisiológicos (biomasa e índice de cosecha) y los componentes numéricos del rendimiento (número y peso de grano). La proporción de la varianza explicada por las interacciones GxA para rendimiento fue superior a la varianza genotípica; mientras que fue significativa, pero menor, para los determinantes fisiológicos.

Los análisis de conglomerados sobre matrices bimodales GxA estandarizadas por ambiente agruparon a los genotipos en cuatro grupos con diferentes patrones de respuesta y a los ambientes en dos grupos en base a la discriminación genotípica, en ambos casos constituidos por genotipos y/o ambientes de altiplano y valles interandinos respectivamente. Por otro lado, el



análisis de ordenación reveló un patrón repetible de discriminación genotípica, lo que sugiere que la región de cultivo de quínoa del NOA puede ser dividida en dos mega-ambientes. Las diferencias fenológicas entre genotipos en conjunción con las diferencias ambientales en la incidencia de mildiu (*Peronospora farinosa* f.sp. *chenopodii* Fr.) o el riesgo de heladas generaron cambios de ranking entre genotipos para rendimiento entre ambientes y determinaron adaptación específica a las diferentes condiciones agroecológicas. En base a estas observaciones existe la posibilidad de evitar este tipo de interacciones seleccionando para adaptación específica en cada zona agroecológica. La variación genotípica en tiempo a floración constituyó la fuente principal de variación genotípica para rendimiento en grano a través de su influencia en la cantidad de biomasa aérea en ambientes de valle, mientras que el índice de cosecha fue el principal determinante del rendimiento en ambientes de altiplano. Por otra parte, el número de granos fue el componente numérico que explicó la variación genotípica del rendimiento en ambos mega-ambientes.

#### **Panorama de la producción de quínoa.**

Existen pocos antecedentes de producción de quínoa en Argentina; de hecho, este cultivo no estuvo inscripto hasta 2013 en el Código Alimentario Nacional. Los esfuerzos (generalmente aislados) para su rescate y promoción se remontan a más de veinte años con fuerte énfasis desde 2001 a ésta parte, la que culminó en la obtención de una colecta de germoplasma importante (~500 accesiones) para custodia, investigación y utilización. Esta colección constituye una amplia base genética para cubrir una demanda regional, esto es, el desarrollo del cultivo y la obtención de variedades locales mejoradas con atributos de resistencia a factores bióticos y abióticos, ambos necesarios para cubrir el desafío productivo de éste nuevo contexto climático.

El área de cultivo actual más importante -y ciertamente de mayor potencial en planteos acordes con los tradicionales- se extiende en la región noroeste del país, sobre una amplitud significativamente heterogénea de ambientes comprendidos entre los 1100 a los 3800 msnm. Allí, la base del sistema productivo es generalmente manual o con escasa tecnificación aunque

recientemente agricultores de raigambre sojera y vitivinicultora están incorporando el cultivo de quínoa a modelos de explotación agroindustrial (Fig. 4). Se estima para esta región una superficie cultivada total de 151 ha, donde se destacan las provincias de Catamarca (74 ha), Salta (47 ha) y Jujuy (25 ha) con rendimientos promedio de 1.25 t/ha, ellas se corresponden con 133 unidades productivas, es decir superficies promedio de 1.14 ha/unidad. Por su parte, las provincias de Buenos Aires y La Pampa en la zona centro-sur de Argentina proveen una producción de al menos 26 ha con rindes promedio de 1.6 t/ha (Alarcón, 2012).

La producción de quínoa en Argentina para el período 2009-2011 se estimó entre 97 a 150 t y representaría el 0,2 % de la producción mundial. Tales estimadores permitían inferir un crecimiento anual promedio del 8 % con un pico de 30 % para el 2009; sobre esa base la producción nacional se proyectó en 886 t para el año 2013 (FAO, 2002-11). Sin embargo, durante este año los altos precios internacionales (~3200 U\$S/t, Estrada Z. 2012) sumado a las virtudes agroindustriales del grano han estimulado a productores del NOA hacia un salto productivo sin precedentes. En efecto, en junio de 2013, durante una jornada sobre cultivo de quínoa a la que concurrieron 160 productores, solo 3 (tres) de ellos declararon en conjunto 295 ha sembradas en el Valle de Lerma y Quebrada del Toro, ambas en la provincia de Salta, valor bastante próximo a las 400 ha de extensión del cultivo que declara la prensa local. Estos indicadores pronostican que durante las próximas campañas agrícolas se escalará fácilmente hacia superficies con cifras de 4 magnitudes.

La mayor parte de la producción local se vende como grano sin generación de valor agregado. Sin embargo en Cusi-Cusi (Jujuy) la producción local -apuntando a un mercado de productos funcionales- ya emprendió la implementación de una planta industrializadora del grano y avanzó en un proceso de agregado de valor elaborando 3 variantes de quínoa i) inflada, ii) aplastada y iii) incorporada en golosinas.

En otro ámbito, el gobierno de la provincia de Catamarca, en un esfuerzo conjunto "estado-empresa" impulsa un proyecto productivo con agricultores del departamento de Tinogasta que incluye una meta de industrialización para producción de harina de quínoa destinada a

elaboración de fideos y leche enriquecida con quínoa, hierro, zinc y vitamina C, con lo cual se atenderá la necesidad alimentaria de personas comprendidas en un rango etario de 4 a 14 años.

Sin embargo, la demanda actual de quínoa con valor agregado, por parte de empresas del rubro golosinas y gastronómicas, especialmente aquellas dedicadas a la alta cocina, es abrumadoramente superior a la producción actual y promete un incremento constante difícil de satisfacer en el corto plazo.

También son destacables los esfuerzos de producción por parte de agricultores del departamento de Yavi (Jujuy) que ya se encuentran en instancias previas a la inscripción como semilleristas locales y la incipiente orientación de productores de Seclantás y Luracatao (Salta) a la obtención de variedades con utilización de germoplasma nativo.

Finalmente, es importante mencionar que aún falta actuar sobre factores considerados de impacto negativo sobre el rendimiento. Para su atención y consecuente desarrollo integral del cultivo con soporte de agricultura altamente competitiva, se continúa avanzando en ajuste de tecnologías para siembra, producción de semilla, manejo de plagas, utilización de herbicidas, cosecha y post-cosecha; dichas tareas están encaradas por instituciones estatales involucradas en los procesos agropecuarios.

A modo de corolario, la sola mención de la: i) persistencia temporal, ii) amplia base genética, iii) rusticidad del cultivo, iv) excelentes atributos nutricionales y v) gran potencial industrial, constituyen un marco conceptual que posicionarán a la quínoa entre los primeros cultivos del país y probablemente como el primero del noroeste argentino.



**Figura 4:** Primer cosecha mecanizada de quínoa en Valles Calchaquies, provincia de Salta, 10 de Junio de 2013 (foto Santiago Arnaude).

## Referencias

- Aguirre MG (2007) Arqueobotánica del sitio Peñas Chicas 1.3 (Antofagasta de la Sierra, Catamarca, Argentina). In Marconetto B, P Babot & N Oliszewski (comps). *Paleoetnobotánica del Cono Sur: Estudios de Casos y Propuestas Metodológicas*, Museo de Antropología, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 179-195.
- Alarcón G.A. (2012). Mercado de la quínoa. Informe de consultoría proyecto UCAR Fortalecimiento Institucional, financiado por BIRF. 60 pp.
- Arias ME, MG Aguirre, C Luque & PS Escola (2013) Caracterización anatómica de tallos de *Chenopodium* (*Chenopodiaceae*). Aportes al estudio de restos arqueológicos. En prensa en *Intersecciones en Antropología*.
- Arreguez G, JG Martínez, N Oliszewski & G. Ponessa (2013). La problemática de recuperación de macrorrestos arqueobotánicos de tamaño pequeño. El caso de las amarantáceas/quenopodiáceas en sitios arqueológicos del Holoceno Medio y Tardío del noroeste argentino. In Belmar C & VS Lema (eds). *Avances y desafíos metodológicos en Arqueobotánica: Miradas consensuadas y diálogos compartidos desde Sudamérica*, Facultad de Estudios del Patrimonio Cultural, Universidad Internacional SEK, Santiago de Chile. En prensa.
- Babot MP (2009). La cocina, el taller y el ritual. Explorando las trayectorias del procesamiento vegetal en el Noroeste Argentino. *Darwiniana* 47,1: 7-30.
- Babot MP (2011). Cazadores-recolectores de los Andes Centro-Sur y procesamiento vegetal. Una discusión desde la Puna Meridional Argentina (ca. 7000-3200 años a.p.). *Chúngara* 43, Número especial 1: 413-432.
- Babot MP, S Hocsman, R. Piccón Figueroa & MC Haros (2012). Recetarios prehispánicos y tradiciones culinarias. Casos de la Puna argentina. In Babot MP, M Marschoff & F Pazzarelli (eds). *Las manos en la masa. Arqueologías, Antropologías e Historias de la Alimentación en Suramérica*, Museo de Antropología, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 235-269.
- Bárcena JR (2001). Prehistoria del Centro-Oeste Argentino. In E Berberian & A Nielsen (dir). *Historia argentina prehispánica*, Editorial Brujas, Córdoba, Tomo II, 561-634.
- Bertero HD, R Joffre, T Winkel, MM Manifiesto, MP Babot, MG Aguirre, C del Castillo, M-P Dubois, S Costa Tártara & CM Arizio (2013). Proyecto Archaeoquinuas: estudio del proceso de domesticación, la variabilidad y dispersión de quínoa en los Andes Centro-Sur. In Bárcena JR & SE Martín (eds). *Arqueología Argentina en el Bicentenario de la Asamblea General Constituyente del Año 1813. Libro de Resúmenes del XVIII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, Universidad Nacional de La Rioja, La Rioja, 582-583.
- Calo CM, MF Bugliani & MC Scattolin (2012). Allí algo se cocina... Espacios de preparación de alimentos en el Valle del Cajón. In Babot MP, M Marschoff & F Pazzarelli (eds). *Las manos en la masa. Arqueologías, Antropologías e Historias de la Alimentación en Suramérica*, Museo de Antropología, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 443-461.
- Castro RV & MN Tarragó MN (1992). Los inicios de la producción de alimentos en el Cono Sur de América. *Revista de Arqueología Americana* 6: 91-124.
- Curti, R.N.; Andrade, A.J.; Bramardi S., Velázquez, B.; Bertero, H.D. (2012). Ecogeographic structure of phenotypic diversity in cultivated populations of quinoa from Northwest Argentina. *Annals of Applied Biology*, 160: 114-125.
- Echenique M & J. Kulemeyer (2001). La excavación arqueológica de una "mancha blanca", en el sector M43C del sitio Moralito, Departamento San Pedro, Provincia de Jujuy (República Argentina). In Ortiz G & BV Ventura (eds). *La mitad verde del mundo andino. Investigaciones arqueológicas en la vertiente oriental de los Andes y las Tierras Bajas de Bolivia y Argentina*, Editorial de la Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy, 99-129.
- Escola PS, S Hocsman & MP Babot (2013). Entre las residencias y los campos de cultivo. Aportes de los cuchillos/raederas de módulo grandísimo a la cuestión del laboreo agrícola en Antofagasta de la Sierra (Puna de Catamarca) durante el primer milenio dC. En prensa en *Relaciones, Revista de la*



*Sociedad Argentina de Antropología.*

Estrada Zúñiga, R. 2012. Importancia del cultivo de quínoa, hacia el año internacional 2013. Videoconferencia, Cuzco 25 de octubre de 2012, disponible en: [www.huanucoagrario.gov.pe/sites/default/files/boletines/quinoa.pdf](http://www.huanucoagrario.gov.pe/sites/default/files/boletines/quinoa.pdf)

Gambier (2002). Las Quinas: un nuevo sitio de la Cultura de La Aguada en San Juan. *Estudios Atacameños* 24: 83–88.

González Baroni LG. & MP Babot (2013). Caracterización de los microfósiles en tártaro dental de individuos del primer milenio A.D. de la Puna Argentina. In *Anais do Museu Nacional-UFRJ, Serie Livros* 49: 227. Resúmenes del 5º Encontro Latinoamericano de Fitólitos, Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Hernández AM, H Lagiglia & A Gil (1999–2000). El registro arqueobotánico en el sitio Agua de Caballos-1 (San Rafael, Mendoza). *Anales de Arqueología y Etnología* 54–55: 181–203.

Hocsman S (2006). *Producción Lítica, Variabilidad y Cambio en Antofagasta de la Sierra -ca. 5500-1500 AP-*. Tesis Doctoral en Ciencias Naturales, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.

Hunziker A (1943a). Las especies alimenticias de *Amaranthus* y *Chenopodium* cultivadas por los indios de América. *Revista Argentina de Agronomía* 10: 297–354.

Hunziker A (1943b). Granos hallados en el yacimiento arqueológico de Pampa Grande (Salta, Argentina). *Revista Argentina de Agronomía* 10: 146–154.

Hunziker, A. T. (1952). Los pseudocereales de la agricultura indígena de América. Acme Agency, Buenos Aires.

Hunziker A y Planchuelo (1971). Sobre un nuevo hallazgo de *Amaranthus caudatus* en tumbas indígenas de Argentina. *Kurtziana* 6:63–67.

Korstanje MA (2005). *La organización del trabajo en torno a la producción de alimentos, en sociedades agropastoriles formativas (Pcia. de Catamarca, Rep. Argentina)*. Tesis de Doctorado en Arqueología, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán.

Korstanje MA & P Cuenya (2008). Arqueología de la agricultura: suelos y microfósiles en campos de cultivo del Valle del Bolsón, Catamarca, Argentina. In Korstanje MA & MP Babot (eds). *Matices interdisciplinarios en estudios fitolíticos y de otros microfósiles*, BAR International Series Nº 1870, Oxford, 133–147.

Lagiglia H (2001). Los orígenes de la agricultura en la Argentina. In Berberián E & A Nielsen (dir). *Historia Argentina Prehispánica*, Editorial Brujas, Córdoba, Tomo 1: 41–81.

Lema VS (2010). Confluencia y emergencia: domesticación y prácticas de manejo del entorno vegetal en la frontera. In Bárcena JR & H Chiavazza (eds). *Arqueología argentina en el Bicentenario de la Revolución de Mayo, Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales, CONICET y Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Tomo III, 1043–148.

Lennstrom HA (1992) Botanical remains from the Calchaquí Archaeological Project 1990, Archaeobotany Laboratory Report No 29. University of Minnesota, USA.

Medina M, S Grill & ML López (2008). Palinología arqueológica: su implicancia en el estudio del Prehispánico Tardío de las Sierras de Córdoba (Argentina). *Intersecciones en Antropología* 9: 99–112.

Mintzer, M. J. (1933). Las quinoas. Su cultivo en la Argentina. Su importancia como planta alimenticia. *Bol. Min. Agric. Nac.* 34: 59–77.

Muscio, HJ (2004). *Dinámica poblacional y evolución durante el Período Agroalfarero Temprano en el Valle de San Antonio de los Cobres, Puna de Salta, Argentina*. Tesis Doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Buenos Aires.

Olivera D (2006). Recursos bióticos y subsistencia en sociedades agro-pastoriles de la Puna Meridional Argentina. *Comechingonia* 9: 19–56.

Parodi, L. R. 1966. *La agricultura aborigen argentina*. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires.

Paucke, F. (1944). *Hacia allá y para acá (Una estadía entre los indios Mocobés, 1749-1767)*. Tomo



III: *Segunda parte*. Publicaciones Especiales del Instituto de Antropología (V). Universidad Nacional de Tucumán. Publicación N° 349. Ed. Coni, Buenos Aires.

Planchuelo, A.M. (1975). Estudio de los frutos y semillas del género *Chenopodium* en la Argentina. *Darwiniana* 19: 528-565.

Rodríguez MF, ZE Rúgolo de Agrasar & CA Aschero (2006). El uso de las plantas en unidades domésticas del sitio arqueológico Punta de la Peña 4, Puna Meridional Argentina. *Chungará* 38: 257–271.

Storni J (1942). *Solución Precolombina del Problema Alimenticio. Bromatología indígena*. Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán.

FAO, (2011). Quínoa cultivo milenario. Oficina Regional Chile.

Vorano, R. & R. García. (1976). La quinoa en la provincia de Jujuy, Argentina.

Actas de la II Convención Internacional sobre Quenopodiáceas. IICA. Serie Informes de Reuniones N° 96. Potosí, Bolivia.



## PARTE 6.

# EXPERIMENTACIÓN Y DIFUSIÓN ACTUAL



## CAPÍTULO 6.11

# TÍTULO: ADAPTACIÓN Y POSIBILIDADES PARA LA QUINUA EN LAS LATITUDES SEPTENTRIONALES DE EUROPA

\*Autor para correspondencia: Sven-Erik JACOBSEN<sup>a</sup> <[seja@life.ku.dk](mailto:seja@life.ku.dk)> <sup>a</sup> Universidad de Copenhague, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias vegetales y ambientales, Højbakkegaard Alle 9, DK-2630 Taastrup (Dinamarca).

## Resumen

Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un nuevo cultivo, actualmente sometido a prueba en Europa del Norte, donde su pariente cercana *C. album* es una especie de maleza conocida. En la edad de hierro *C. album* en Europa tenía el estatus de un cultivo secundario, o recolectado o cultivado. Por lo tanto, la introducción de la quinua al norte de Europa en la actualidad se basa en la utilización de una especie estrechamente relacionada con los tiempos antiguos. La quinua es uno de los cultivos existentes más antiguos, que primero fue detectado por los europeos cuando Colón descubrió América del sur a principios del siglo XVI. Sin embargo, no se llevaron la quinua a Europa, así que el cultivo permaneció literalmente desconocido fuera de los países andinos hasta que estadounidenses llegaron a Bolivia y Perú a fines de 1970, con el fin de importar quinua a los Estados Unidos como un producto alimenticio. En aquel momento también fue introducida en Inglaterra, Dinamarca y en los Países Bajos, donde se iniciaron estudios sobre el cultivo, luego seguido por otra expansión con ensayos en Europa y el resto del mundo. Aún así, hay en la actualidad muy poca producción comercial de la quinua fuera de los Andes, pero está aumentando y el potencial para la futura expansión de su producción mundial es significativo. Según la FAO, la quinua es considerada como un alimento básico del mundo nuevo y se prevé su expansión rápida por todo el mundo (FAO, 2013).

Debido a la creciente demanda global de quinua, tanto como una mercancía de exportación andina y para fines de desarrollo agrícola, hay gran interés en las pruebas de quinua para cultivo bajo una variedad de condiciones ambientales y geográficas. Entre los ambientes más distanciados de las condiciones naturales del cultivo se encuentra el norte de Europa. Trabajo de investigación realizado en Europa, de sur a norte, ha demostrado el potencial de que la quinua también sea producida en condiciones europeas, con variedades adaptadas a días más largos, ambientes más húmedos y la mecanización intensiva. Más recientemente, la quinua ha sido cultivada comercialmente y con éxito en Australia y Francia y está a punto de dar el mismo paso en un número alto de otros países.

## Introducción.

El género *Chenopodium* incluye alrededor de 250 especies de todo el mundo. Es considerado uno de los géneros más nutritivos en existencia, debido a su contenido de fibra dietética y proteína, así como grasas saludables, cenizas y minerales (Repo-Carrasco et al., 2003). Varias especies de *Chenopodium* han sido domesticadas independientemente. Formas más domésticas de *Chenopodium* se cultivan como cultivos de semillas, por ejemplo *C. pallidicaule*, aunque algunos, como *C. nuttalliae* en América Central, también se utilizan como una verdura parecida a la espinaca. La especie más antigua de *Chenopodium* domesticada, identificada hasta la

fecha, es la quinua sudamericana desarrollada en las montañas de los Andes hace unos 7500 años (Pearsall, 1992). Llegó a América del Norte ca. 1200 DC. Otras especies fueron domesticadas independientemente, en lugar de distribuirse mediante el comercio.

En Europa del Norte *C. álbum*, que es una especie de maleza mundial, era un cultivo secundario en Dinamarca durante la edad del hierro (1200 A.C. - 400 DC) (Stokes y Rowley-Conwy, 2002). Diversos hallazgos prehistóricos de Dinamarca, tal como un depósito de 1,5 l de semillas, que corresponde a aproximadamente 2,4 millones de semillas, de los primeros siglos DC, demuestra la recolección o cultivo separado de esta especie como alimento (Helbaek 1954). Semillas de *C. álbum* también estuvieron presentes en el contenido estomacal de los cuerpos preservados por los pantanos de Tollund (Helbaek 1950) y Grauballe (Helbaek 1958). Probablemente las plantas para estas comidas fueron cosechadas deliberadamente por los agricultores de la edad de hierro, que recogieron las plantas enteras para posterior trilla y secado (Glob 1969). Ahora se sabe que semillas de *C. álbum* han sido utilizados debido a hallazgos tan tempranos como la edad del bronce tardío (1570-1200 A.C.), en el sitio de Voldtofte, Dinamarca (Rowley-Conwy 1982, 2000).

*C. álbum* también fue utilizado como un pasto para vacas lecheras en Dinamarca durante la II Guerra Mundial (1940-1945), ya que los agricultores descubrieron que esta aseguró una buena producción y calidad de leche, lo que era muy importante dado la carencia de proteínas. ¿Debería la adaptación danesa y europea de *Chenopodium* apuntar a *C. álbum* o *C. quinoa*? Se decidió centrarse en la quinua, ya que hay un largo camino por recorrer para transformar una especie silvestre como *C. álbum* en un cultivo (Risi y Galwey, 1984; 1989a; Jacobsen, 1997). Aunque la quinua es un cultivo tropical, es también un cultivo de tierras altas y crece en temperaturas relativamente bajas.

### Adaptación de cultivos.

Hay una necesidad de adaptar nuestros cultivos conocidos a una gama de factores de estrés, tanto abióticos como bióticos, algunas de las cuales se ven agravadas por los cambios climáticos previstos y reales. Estas tensiones necesitarán la búsqueda para la capacidad de adaptación a los fotoperiodos de nuevas regiones, especialmente en los cultivos

con una mejor tolerancia al estrés, como la quinua. El enfoque estándar para la adaptación de especies cultivadas y cultivares a nuevos fotoperiodos y ambientes térmicos ha consistido en manipular la floración hasta calzar la fenología con las condiciones climáticas específicas, y regular el número de días del ciclo de crecimiento pasados en etapas vegetativas y reproductivas (Bertero et al. 1999, Lawn 1989, Lawn et al. 1995).

La quinua podría utilizarse para la diversificación de cultivos en Europa y otras partes del mundo, fuera de su origen genético, como una alternativa para las tierras agrícolas marginales. Por este motivo tiene que adaptarse a nuevas regiones del mundo, fuera de los Andes.

Históricamente, la quinua ha sido continuamente seleccionada para nuevos entornos en la región andina, debido a su expansión gradual desde su centro de origen alrededor del lago Titicaca, entre Perú y Bolivia. Su expansión desde el lago fue tanto hacia el norte a Ecuador, Colombia y Venezuela como al sur a Chile y Argentina y desde el altiplano a los valles y regiones costeras de los países andinos. Sin embargo, el proceso fue lento debido a la alta variabilidad del medio ambiente y las condiciones climáticas irregulares en la región andina (Bertero et al. 2004).

La adaptación actual de la quinua a nuevos entornos ha sido relativamente rápida. Ningún otro cultivo se ha introducido tan rápidamente. La introducción de la papa, que fue traída a Europa desde América del sur por los invasores españoles en el siglo XVI y fue rápidamente distribuida por toda Europa, no fue aceptada comercialmente hasta después de 200 años en el inicio de la revolución industrial de finales del siglo XVIII (Chapman, 2013). La Soja se originó en China y pronto se extendió al sudeste asiático con la dinastía Ming (Hancock, 2004), fue vista en Europa y América en el siglo XVIII, pero su importancia más allá de Asia no fue iniciada hasta el siglo XX (Hymowitz y Harlan, 1983).

El kiwi es otra historia de éxito mundial reciente. Se originó en China con el nombre de Grosella china, y a principios del siglo XX se extendió a Nueva Zelanda. Su exportación desde este país a los Estados Unidos comenzó justo después de la segunda guerra mundial bajo su nuevo nombre (Ferguson, 1999). Hace 50 años, no había un foco en la quinua, ni siquiera en la



región andina y no se llevaba a cabo ninguna actividad de desarrollo, mejoramiento o investigación. La quinua fue valorada únicamente por los agricultores andinos, mientras que en las zonas urbanas la quinua fue encontrada solamente como un grano integral de calidad inferior (Vietmayer, 1989).

Previamente los cultivos introducidos han tomado 200 años para lograr la aceptación y popularidad en una amplia escala (como la papa y la soja), mientras que el kiwi logró el mismo proceso en sólo 50 años. Hasta ahora la quinua ha estado en expansión por aproximadamente 30 años, y está cerca de tener éxito mundial.

Todas las etapas de desarrollo en quinua son sensibles a cambios en el fotoperiodo, pero particularmente la fase reproductiva (Bertero et al. 1999). Fotoperiodos de más de 12 h ocasionan importantes efectos perjudiciales en el desarrollo de la quinua (Christiansen et al. 2010). Los efectos más importantes de un fotoperiodo extendido se observan después de la floración como una interrupción de las etapas de llenado y maduración de semillas, en cambio se ve un continuado crecimiento vegetativo y de floración (Bertero et al. 1999, 2004; Christiansen et al. 2010). La quinua entonces es una planta de día corto facultativo (Bertero et al. 1999; Christiansen et al. 2010), lo que significa que la floración ocurre bajo cualquier fotoperiodo, mientras que el desarrollo reproductivo es inhibido por fotoperiodos mayores a los que se encuentran en su origen (Bertero et al. 1999, 2004; Christiansen et al. 2010). Se recomienda estudiar la fisiología además de los efectos del fotoperiodo (Christiansen et al. 2010).

La quinua tiene un gran potencial para ser producida en Europa (Galwey 1993, Jacobsen 1997, Jacobsen y Stølen 1993). Sin embargo, las regiones con un interés en la introducción de la quinua tienen días más largos que los que se encuentran en su centro de origen, entonces son requeridos estudios sobre los mecanismos fisiológicos y respuestas a fotoperiodos (Adolf et al., 2012).

### **Historia europea de quinua.**

No se iniciaron programas de investigación de mejoramiento de la quinua hasta los años sesenta en los países andinos (McElhinny et al., 2007). Hubo algunos intentos tempranos en Europa para introducir la quinua, pero los genotipos de quinua seleccionados son oriundos de Bolivia y Perú, por

lo tanto, no maduran en latitudes altas (Simmonds, 1965). Programas de mejoramiento genético fuera de los Andes se iniciaron en la década de 1980 en los Estados Unidos y Europa con el objetivo de adaptar la quinua, mirando la madurez temprana bajo nuevas condiciones climáticas y agronómicas.

La introducción de la quinua a Europa comenzó en la década de 1970, donde la especie fue traída a Reino Unido después de expediciones de recolección en América del sur. Se inició con un programa de mejoramiento en la Universidad de Cambridge (Fleming y Galwey, 1995; Galwey, 1989; Risi y Galwey, 1984; 1989a, b; 1991). En 1987, el programa fue continuado en Dinamarca después del establecimiento de la colaboración entre Galwey y Jacobsen (Jacobsen & Risi, 2001). Ambos países trabajaron sobre una amplia gama de genotipos obtenidos de colecciones británicas anteriores. Líneas uniformes fueron desarrolladas y códigos de identificación fueron entregados, pero las variedades no fueron registradas. El mejoramiento de la quinua comenzó en Holanda en 1986 basado en accesiones de bancos de genes, jardines botánicos y universidades. Después de la evaluación, líneas uniformes adaptadas al clima de Europa occidental fueron seleccionadas (Mastebroek et al., 2002). Un análisis de estabilidad del tiempo de selección para algunos rasgos cuantitativos de la quinua concluyó que la selección para altura, tamaño de la inflorescencia y etapa de desarrollo podría ser satisfactoriamente llevada a cabo en las primeras etapas de un programa de mejoramiento, y líneas parentales potenciales fueron identificadas en una población (es decir, de 14 líneas cultivadas durante cinco temporadas) para su uso en el desarrollo de nuevas variedades adecuadas para las condiciones de Europa del Norte (Jacobsen et al., 1996). En 1993, se realizó un proyecto apoyado por la Unión Europea, titulada “quinua — un cultivo multipropósito para la diversificación agrícola de la CE”, con ensayos de campo en el Reino Unido, Dinamarca, Holanda e Italia (Galwey, 1993). Otros países que mostraron interés en el cultivo en ese momento, o más bien como resultado de los prometedores resultados del proyecto de la UE, fueron Suecia, Polonia, República Checa, Austria y Grecia, todos quienes participaron en la Prueba Americana y Europea de la Quinua, apoyado por la FAO (Izquierdo et al., 2003; Jacobsen, 2003; Iliadis et al., 1997, 2001; Ohlsson,

1997). Finlandia también contaba con ensayos en curso (Keskitalo, 1997). Resultados de la Prueba Americana y Europea de la Quinua mostraron que el período de crecimiento en Europa del sur fue de 100 – 116 días para las variedades que fueron capaces de madurar, que es más corto que el período de crecimiento de 110 – 180 días en Europa del Norte (Mujica et al., 2001).

En el Reino Unido, la quinua se vende en tiendas de alimentos saludables, pero su principal aplicación es como cultivo de cobertura para la caza, solo o mezclado con kale. Se siembra una mezcla de tipos de quinua de maduración temprana, mediana y tardía, principalmente de faisanes y perdices, causando la caída natural de la semilla a lo largo de la temporada de caza de octubre a enero (Nicholls, 1996). Semillas de quinua para cultivos de cobertura para la caza se cultiva con éxito en la parte sureste de Inglaterra. Más recientemente en Dinamarca, se ha prestado atención a la quinua para las personas con enfermedad celiaca como alternativa a los cereales trigo, centeno y cebada, que contienen gluten (Jacobsen, 1997; Jacobsen y Bach, 1998; Jacobsen y Stølen, 1993; Jacobsen et al., 1994; 1996; 1997; Lomholt, 1996). Además, se han realizado proyectos en la producción de pellets verdes de quinua. Actualmente no hay ninguna producción comercial de quinua en Dinamarca y el precio que pagan los consumidores daneses de quinua importada de Bolivia es cerca a 10 €/ kg. En Dinamarca y Suecia, los rendimientos eran bajos, si se cosechan en absoluto, y sólo las variedades europeas y chilenas maduraron (Izquierdo et al., 2003). A partir de hace algunos años, cultivares mejorados de quinua, fueron probados tan al norte como Noruega e Islandia. Mientras más al norte, más corta es la temporada de crecimiento, debido a una primavera tarde y un otoño temprano, ambos con la disminución de las temperaturas.

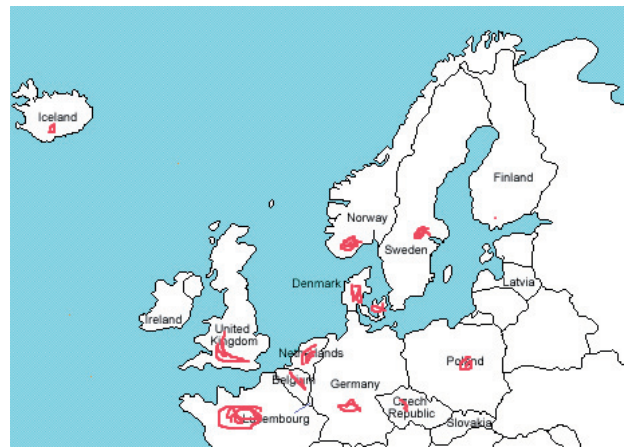
En los Estados Unidos durante los primeros años de la década de 1980, la quinua fue introducida en las latitudes septentrionales de Colorado por la Colorado State University y rápidamente se convierte en una producción comercial en 500 hectáreas. Hoy variedades adaptadas a las condiciones en el centro de los Estados Unidos, en las estribaciones de las montañas rocosas, se cultivan en aproximadamente 50 hectáreas (pers.comm.). La parte principal de la producción se lleva a cabo en las tierras altas del

Valle de San Luis, c. 2000 m s.n.m.

En Canadá, en una región similar al norte de Europa, la quinua se ha cultivado desde principios de los 90, principalmente en Saskatchewan. El nivel de producción actual es de aproximadamente 800 ha (pers.comm.). Cerca de Canadá, en el estado de Washington, se han iniciado ensayos de campo con el objetivo de introducir la quinua al norte de los Estados Unidos como un cultivo básico.

En 2009 se vió el primer ensayo de producción de quinua a escala comercial en Europa. Lo llevó a cabo una empresa francesa AbbottAgra ([www.abbottagra.com](http://www.abbottagra.com)) trabajando con espárragos, y ahora con quinua en el noroeste de Francia, en el Departamento de Maine-et-Loire. La producción fue de 140 t de quinua en 100 hectáreas en 2009, 210 t en 150 hectáreas en 2010 y 270 t en 250 hectáreas en 2011. En 2010 y 2011 el cultivo sufrió por la falta de lluvia en la primavera. Los rendimientos han sido de hasta 3 t/ha, mediante el uso de cultivares holandeses, dulces, de maduración relativamente tardía.

La distribución de la quinua para el propósito de investigación y de dar inicio a la producción comercial en el norte de Europa se ve en Figura 1.



**Figura 1.** Distribución de la quinua en el norte de Europa (marcada en rojo)

## Mejoramiento.

El mejoramiento de la quinua en nuevas regiones debiera concentrarse en la uniformidad, precocidad, altos rendimientos, aspectos cualitativos, y usos industriales de la semilla y de ingredientes específicos. La variedad ideal de quinua para la producción de semillas en Europa del Norte es una con maduración temprana y uniforme. Un período de crecimiento de menos de 150 días normalmente sería considerado como beneficioso. La quinua también debe tener una semilla de alto rendimiento y debe ser bajo y sin ramas para facilitar la cosecha mecánica (Figura 2). La saponina es un compuesto amargo presente en la cáscara de la semilla de la mayoría de los cultivares en diferentes niveles. Su función es que una defensa general contra el estrés biótico y por esta razón puede ser deseable en la producción orgánica. Sin embargo, la presencia de saponinas requiere un descascarado y lavado de semillas antes de su consumo, que tradicionalmente es un proceso muy trabajoso. Para la producción comercial con procesamiento industrial, la extracción de saponinas aumenta los costos. Tamaño, forma y una inflorescencia compacta pueden ser importantes para el índice de maduración. Una gran inflorescencia abierta se secará más rápido después de la lluvia y del rocío de la mañana que una inflorescencia pequeña y compacta, pero también puede ser propensa a la pérdida de semillas, como la quinua es relativamente poco domesticada, con pocas variedades modernas disponibles. Los tipos de forraje deben ser altos, frondosos y de maduración tardía, con un alto rendimiento de materia seca y preferiblemente con un contenido de saponina baja. La quinua debe considerarse como un cultivo

potencial en climas templados, sosteniendo un prometedor potencial en sistemas de agricultura orgánica. La quinua ha sido seleccionada como un potencial nuevo de cultivo de proteína para la alimentación orgánica en Dinamarca. Ensayos de campo en Dinamarca han demostrado rendimientos de semilla de 2 t ha<sup>-1</sup>, con un contenido de 12 – 16% de proteína y 6 – 8% de grasa. Los rendimientos de semilla han variado considerablemente entre los años y lugares, debido al establecimiento del cultivo, medidas de control de malezas, y el hecho que las técnicas de cosecha y post-cosecha aún no han sido optimizadas (Jacobsen et al., 2010).



**Figura 2.** Dos tipos de quinua, con ramas y sin ramas

En los Países Bajos, los programas de fitomejoramiento llevaron a la primera variedad Europea, Carmen, de baja estatura, panoja compacta y maduración temprana. El trabajo continuó, con el objetivo de aumentar la producción y reducir el nivel de saponina (Limburg y Mastebroek, 1996; Mastebroek y Limburg, 1996; Mastebroek y Marvin, 1997). Una segunda variedad, Atlas, que fue la primera variedad dulce, libre de saponinas fuera de los Andes, fue lanzada. En la actualidad, existen variedades de quinua tanto holandesas como también danesas registradas en Europa (Naturerhverv, 2013) (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Cultivares europeas de quinua registradas

Cultivar	Origen	Registro	Caducidad	Fitomejorador	Nota
Carmen	Países Bajos	16/6 1997	1/5 2022	PRI	
Atlas		16/11 1999	18/10 2024	PRI	Dulce
Pasto		16/2 2005	30/1 2030	PRI	Dulce
Riobamba		16/2 2005	30/1 2030	PRI	Dulce
Carina		Com		CPRO-DLO	
Dorado		Com		CPRO-DLO	
Serena		Com		PRI	
Puno	Dinamarca	1/1 2010	13/12 2034	Quinua de calidad	
Titicaca		1/1 2010	13/12 2034	Quinua de calidad	

## Manejo del cultivo de la quinua en el norte de Europa.

Jacobsen et al (1994) encontró que cultivares de quinua seleccionados para las condiciones de cultivo del norte de Europa estaban bien adaptados a suelos arenosos en Dinamarca, aunque se experimentó un aumento significativo del rendimiento cuando la cantidad de fertilizante nitrogenado se incrementó de 40 a 160 kg de N/ha. El rendimiento aumentó en un 16, 11 y 3% cuando el suministro de nitrógeno se incrementó de 40 a 80, de 80 a 120 y de 120 a 160 kg de N/ha, respectivamente. En Alemania del sur, se encontró que los cultivares de quinua 'Faro' y 'Cochabamba' respondieron fuertemente a la fertilización nitrogenada con un incremento del 94% de rendimiento en 120 kg N ha<sup>-1</sup> (Schulte auf'm Erley et al., 2005). La fertilización nitrogenada fue efectivamente utilizada para la producción de semillas de quinua dentro de la gama estudiada de hasta a 120 kg de fertilizante nitrogenado ha<sup>-1</sup>. El rendimiento potencial estimado a menudo excede los rendimientos observados, indicando que tasas de aplicación de nitrógeno aun mayores pueden aumentar el rendimiento (Ørum et al., 2013).

Se ha demostrado que la escarda aumenta el rendimiento más que la labranza con rastra, debido al mejor control de malezas, aun así se logra un aumento de la producción global de cualquiera de los dos métodos. El análisis de regresión mostró

que el rendimiento de los cultivos es relacionado con la materia seca de malezas y no mostró indicios de mayores daños a los cultivos asociados con la escarda de malezas. El contenido de proteína fue bajo cuando las malezas no fueron tratadas y aumentó significativamente cuando las malezas se controlaron. Como conclusión, era más eficiente la escarda entre hileras que la labranza con grada, con respecto al control de malezas. Sin embargo, se debe optimizar la labranza con rastra en futuros ensayos en sistemas de espaciamiento en hileras estrechas, y los resultados indican que la labranza con rastra puede utilizarse como un suplemento a la escarda entre hileras (Jacobsen et al., 2010).

Un modelo expresando rendimiento en función de la densidad de plantas mostró una densidad óptima con respecto al rendimiento de 327 ± 220 plantas m<sup>-2</sup>. Esta densidad de plantas fue el punto superior de la curva de rendimiento relativa a la densidad de plantas. Sin embargo, la gran desviación estándar indica que una muy amplia gama de densidades podría ofrecer rendimientos similares (Jacobsen et al., 1994).

Es conocida la herencia de algunos caracteres cualitativos, incluyendo esterilidad masculina genética y citoplasmática, que puede ser valiosa para el mejoramiento futuro (Jacobsen & Stølen, 1993). También fue definida una escala de etapas de desarrollo (ver cuadro abajo).

**Cuadro 2.** Etapas del desarrollo de la quinua (después de Jacobsen Stølen &, 1993).

<i>Etapas</i>	<i>Descripción</i>	<i>Etapas</i>	<i>Descripción</i>	<i>Etapas</i>	<i>Descripción</i>
0	<b>Fase vegetativa</b>	8	<b>Antesis</b>	14	<b>Formación de semillas</b>
1	<b>Formación de yemas</b> Yemas cubiertas por hoja	9	Floración media	15	1/3 de formación de semillas Formación de semillas media
2	Yema visible	10	Floración completa	16	2/3 de formación de semillas Formación de semillas
3	Yema distinta	11	<b>Dehiscencia floral</b> Inicio	17	Formación de semillas completa
4	Yema aprox. 0,5 cm	12	Dehiscencia de la mayoría de las flores	18	<b>Madurez</b> Hojas: Verde>amarillo
5	Yema aprox.1 cm	13	Solamente anteras marchitas	19	Amarillo>verde
6	Inicio de forma piramidal			20	Maduro
7	Forma de pirámide distinto			21	Marchitas



La accesión de quinua danesa Olav fue demostrada para tener una temperatura base (en la que se inicia la germinación) de 3 °C, una temperatura óptima de 30-35 °C y una temperatura máxima de 50 °C. El requisito de tiempo térmico para la germinación, definido como la protrusión de la raíz, era 30 °Cd (Jacobsen & Bach, 1998). La temperatura base del 3°C está en el rango normal para cultivos de climas templados, mientras que la temperatura óptima es similar a cultivos tropicales (García-Huidobro et al., 1982), que sugiere que la quinua danesa podría germinar y se podría establecer satisfactoriamente en regiones tropicales y templadas. El bajo tiempo térmico para la protrusión de raíz (30° Cd) muestra una rápida respuesta a la temperatura, lo cual es beneficioso en las regiones del norte, donde la temporada de cultivo es corta.

Una descripción de las instrucciones de cultivo para la producción de quinua en las condiciones de Europa del Norte se da en la Placa 1, basado en las experiencias de Dinamarca y otros países de Europa del Norte durante los últimos veinte años de investigación.

#### **Discusión general.**

Está aumentando el interés de la quinua en el mercado mundial. Una de las razones para esto se debe a las extraordinarias características nutricionales de la quinua. La alta calidad nutricional resulta beneficiosa no sólo para los vegetarianos y veganos, sino también para las personas conscientes de la salud. Además, la quinua es libre de gluten, y entonces resulta favorable para personas que padecen la enfermedad celíaca. Las importaciones de la quinua por la Unión Europea han aumentado rápidamente en los últimos años. El consumo de

quinua ha aumentado particularmente en Francia, Holanda y Alemania y más recientemente en el Reino Unido y Escandinavia. Bolivia abastece el 94% de la importación de quinua a la UE (CBI Market Information Database).

La quinua es una alternativa a los productos alimentarios globales como el arroz y la harina de trigo, pero superior con respecto a su valor nutricional y la tolerancia al estrés abiótico. Por lo tanto, se cree que seguirá la tendencia al alza de su consumo, que es también la razón por qué 2013 fue nominada el año internacional de la quinua por la FAO. El potencial para el cultivo de la quinua en Europa se estimó previamente a 2 millones de ha (Galwey, 1993), pero con una sustitución de sólo el 10% del arroz con quinua, se requerirá de más de 30 millones de ha extra a escala mundial. Su potencial es enorme, también en Europa del Norte, donde las empresas han estado trabajando con quinua boliviana durante varios años, con la capacidad para desarrollar nuevos productos. Europa del Norte también ha demostrado su capacidad para desarrollar una nueva cocina, por ejemplo en la comida nórdica. En el futuro la quinua jugará un papel importante en la preparación de alimentos nórdicos, tanto en la alta gastronomía como en los platos más sencillos y cotidianos.

## Placa 1. Instrucciones para el cultivo mecanizado de la quinua en Europa del Norte

### *Establecimiento*

El período más crítico en el cultivo de la quinua en Europa del Norte y otros lugares, es el establecimiento inicial, que tiene que ser rápido y eficiente. La quinua es sensible a las condiciones subóptimas en el momento de la siembra, tales como una siembra profunda, un lecho de siembra heterogéneo, baja temperatura del suelo y calidad de semilla especialmente pobre, que conducen a la reducción del rendimiento.

### *Lecho de siembra*

El lecho de siembra debe ser óptimo, de buena textura y con suficiente humedad para una rápida germinación y establecimiento de las plantas. El lecho de siembra debe estar libre de malezas en el momento de la siembra. Problemas de malezas son más severos en una siembra tardía.

### *Condiciones de siembra*

Las condiciones óptimas de siembra son creadas mediante el uso de semillas de alta calidad con vitalidad y un porcentaje de germinación alto, sembrado en profundidades de 1-2 cm en un lecho de siembra húmedo, bien estructurado y uniforme, con una temperatura de suelo por encima de 0 °C.

### *Fecha de siembra*

La siembra temprana después de las heladas del invierno ha dado buenos resultados, si el primer mes de la primavera (abril) es relativamente seco. Si el período después de la siembra es húmeda y fría, semillas o plantas con 2-4 hojas pueden ser atacadas por las enfermedades y plagas transmitidas por el suelo tales como *Fusarium* sp. La quinua debe cultivarse como un cultivo de primavera, ya que no puede pasar el invierno en el campo.



Siembra en un lecho de siembra óptimo



Plántulas de quinua emergidas

### *Distancia entre hileras*

La quinua puede sembrarse en 12,5, 25 ó 50 cm. Si la quinua se siembra con una distancia entre hileras de 25-50 cm, se puede realizar la escarda. Si se siembra a la distancia usada para cereales (12,5 cm), las malezas sólo pueden ser controladas con la labranza con rastra.

### *Tasa de siembra*

No existe correlación entre la densidad de plantas y el rendimiento, que demuestra la capacidad compensatoria de la quinua. Si hay pocas plantas, serán grandes con alto rendimiento por planta. Sin embargo, se prefiere una densidad relativamente alta para asegurar plantas y madurez uniforme, así que la recomendación es 100 plantas m<sup>-2</sup>, obtenidos con una tasa de siembra de aproximadamente 10 kg ha<sup>-1</sup>.

### *Malezas*

No pueden utilizarse en la quinua los herbicidas que controlan especies de malezas de dos hojas. Por esta razón y por el interés principal en la producción de quinua orgánica, se han estudiado los métodos mecánicos de escarda, labranza con rastra y tratamiento con fuego.

Tratamiento con fuego: Como la quinua parece emerger más rápido que cualquier especie de maleza, no hay ninguna posibilidad de utilizar fuego para combatir las malezas antes de la emergencia de la quinua.

Escarda: Para un óptimo control de malezas es importante sembrar en un lecho de siembra limpio. A su vez permitir que las malezas germinen en un lecho de siembra falso puede ser muy eficaz. La escarda debe ocurrir lo más temprano posible, pero sin cubrir las plantas de quinua con el suelo entre las hileras. En un control posterior es posible conducir más rápido, creando lomos que tendrán un efecto positivo en el control de malezas en la hilera. La escarda permite un tratamiento exacto entre las hileras, que hace más fácil controlar las malezas, porque es posible trabajar profundamente en el suelo y a alta velocidad sin dañar la quinua. Debe evitarse cubrir el cultivo con tierra, aunque la quinua es relativamente tolerante y puede sobrevivir siendo cubierta.

Labranza con rastra: Esta técnica es fácil de realizar independiente de cómo se sembró el cultivo. Una velocidad más alta es posible. La desventaja es que el cultivo debe estar por delante de las malezas para evitar daños. Sin embargo, ha sido demostrado que la quinua es tolerante a una labranza con rastra bastante duro sin dañar el cultivo.

Ambas estrategias de control de malezas resultan en la pérdida de plantas de quinua. La escarda temprana puede causar que el cultivo sea cubierto por tierra, ocasionando la pérdida de algunas plantas. La labranza con rastra provoca la pérdida de las plantas más pequeñas porque es necesaria conducir relativamente rápido para máximo control de malezas. El rendimiento de semilla es más alto con una estrategia de control de malezas eficiente y en general la escarda ha dado mejores resultados que la labranza con rastra. Los precios de las escardas y las rastras son similares.



Labranza con rastra  
*Estiércol*



Escarda

En un sistema de producción orgánica, normalmente se aplica nitrógeno a la quinua en forma de estiércol que contiene 80-120 kg N ha<sup>-1</sup>. La quinua puede responder positivamente a niveles más altos.

#### *Enfermedades y plagas*

Normalmente hay pocos problemas con enfermedades y plagas en la quinua, aunque mildiu lanosa (*Peronospora variabilis*) es visto todos los años y experimentado en todas partes donde se cultiva la quinua. Este es especialmente el caso bajo condiciones húmedas con temperaturas de 15-20 °C. La enfermedad es menos dañina si el verano es seco. La falta de control de la enfermedad puede resultar en una disminución significativa del rendimiento.

#### *Cosecha*

La cosecha temprana es esencial en las regiones montañosas y en altas latitudes, que requieren el establecimiento y crecimiento temprano en la primavera, esto permite al cultivo evitar un clima frío y húmedo otoñal en las latitudes septentrionales, que dificulta aún más la cosecha, aumenta los costos de secado y reduce la calidad de la semilla. En grandes altitudes es deseable evitar la sequía y las heladas hacia el final de la temporada de cultivo. Una siembra tardía o una fría estación de crecimiento retrasan el desarrollo y fecha de la cosecha. La cosecha puede realizarse con una cosechadora, ubicando el puente cerca, y reduciendo las corrientes de aire. El rendimiento es hasta 2t ha<sup>-1</sup> con cultivares bien adaptados.



Una buena densidad de plantas en un cultivo limpio



Quinua cerca a la madurez





Fechas de siembra, temprana y tardía



Cosecha comercial



Rendimiento de semilla



Semilla cosechada

#### *Valor nutricional*

La quinua tiene un alto contenido de aceite (6% frente al 2 por ciento en los cereales) y un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (omegas). Tiene un alto contenido proteico (14-18%), incluyendo un alto contenido de lisina y metionina (el doble de los cereales). La quinua tiene un alto contenido de hierro, un 50% superior a los cereales y más alto que cualquier otro cultivo.

#### *Usos*

La quinua es atractiva para los alimentos así como para el forraje. El uso principal del producto primario, la semilla, es para el consumo humano y en América del Sur sólo las otras partes de la planta se utilizan para los animales. También en Europa del Norte el cliente principal será el mercado de alimentos. Sin embargo, la quinua tiene un alto valor como forraje, debido a la calidad de su proteína, el almidón y su alta composición de metionina, lo que lo hace perfecto para el forraje de cerdos y aves.

## Referencias

- Adolf, V.I., S. Shabala, M.N. Andersen, F. Razzaghi, S.-E. Jacobsen. (2012). Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Plant Soil* 357, 117-129. DOI 10.1007/s11104-012-1133-7
- Bertero, H.D., R.W. King, y A.J. Hall (1999) Photoperiod-sensitive development phases in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research* 60, 231-243.
- Bertero, H.D., A.J. de la Vega, G. Correa, S.-E. Jacobsen y A. Mujica (2004) Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of multi-environmental trials. *Field Crop Research* 89, 299-318.
- CBI Market Information Database, (2010). <http://www.cbi.eu>
- Chapman, J. (2013). The Impact of the Potato. <http://www.history-magazine.com/potato.html>
- Christiansen, J.L., S.-E. Jacobsen y S.T. Jørgensen (2010) Photoperiodic effect on flowering and seed development in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Plant Soil Science* 60, 539-544.
- FAO. (2013). Food Outlook – Biannual report on global food markets. 140 pp.
- Ferguson, A.R. (1999). New Temperate Fruits: *Actinidia chinensis* and *Actinidia deliciosa*. In, Perspectives on new crops and new uses (J. Janick (ed.), ASHS Press, Alexandria, VA.
- Fleming, J. E., Galwey, N. W. (1995). Quinoa (*Chenopodium quinoa*). Williams, J. T., ed. *Cereals and Pseudocereals*. London: Chapman & Hall, pp. 3-83.
- Galwey, N. W. (1989). Quinoa. *Biologist* 36(5):267-274.
- Galwey, N. W. (1993). The potential of quinoa as a multipurpose crop for agricultural diversification: a review. *Ind. Crops Prod.* 1:101-106.
- Garcia-Huidobro, J., J.L. Monteith, y G.R. Squire. (1982). Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. and H.). II. Alternating temperature. *J. Exp.Bot.* 33, 297-302
- Glob, P. V. (1969), *The Bog People*, [Londres](http://www.faber.com): Faber & Faber
- Hancock, J.F. (2004). Plant evolution and the origin of crop species. CABI Publishing, Reino Unido.
- Helbaek, H. (1950). Tollundmandens sidste Måltid. *Årbøger for Nordisk Oldkyndighed og Historie*: 311-41.
- Helbaek, H. (1954). Prehistoric food plants and weeds in Denmark. A survey of archaeobotanical research 1923-1954. *Danmarks Geologisk Undersøgelse* 2, 80, 250-261
- Helbaek, H. (1958). Grauballemandens sidste maaltid (The last meal of Grauballe Man). *Kuml* 83-116.
- Hymowitz, T., Harlan, J.R. (1983). Introduction of soybean to North America by Samuel Bowen in 1765, *Economic Botany* 37, 371-379
- Iliadis, C., Karyotis, T., Mitsibonas, T. (1997). Research on quinoa (*Chenopodium quinoa*) and amaranth (*Amaranthus caudatus*) in Greece. Proceedings of COST-Workshop., 24-25/10 1997 Wageningen, Países Bajos: CPRO-DLO, pp. 85-91.
- Iliadis, C., Karyotis, T., Jacobsen, S.-E. (2001). Adaptation of quinoa under xerothermic conditions and cultivation for biomass and fibre production. Jacobsen, S.-E., Portillo, Z., CIP, eds. *Memorias, Primer Taller Internacional sobre Quinoa—Recursos Genéticos y Sistemas de Producción.*, 10-14 May 1999 Lima, Peru: UNALM, pp. 371-378.
- Izquierdo, J., A. Mujica, J.P. Marathe & S.-E. Jacobsen. (2003). Horizontal, technical cooperation in research on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19, 25-29
- Jacobsen, S.-E. (1997). Adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) to Northern European agriculture: studies on developmental pattern. *Euphytica* 96:41-48.
- Jacobsen, S.-E. (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19, 167-177.
- Jacobsen, S.-E., Bach, A. P. (1998). The influence of temperature on seed germination rate in quinoa

(*Chenopodium quinoa* Willd.). Seed Sci. Technol. 26:515–523.

Jacobsen, S.-E., Risi, J. (2001). Distribucion geografica de la quinua fuera de los países Andinos. Mujica, A., Jacobsen, S.-E., Izquierdo, J., Marathe, J. P., eds. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)—Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Santiago, Chile: FAO, UNA-Puno, CIP, pp. 56–70.

Jacobsen, S.-E., Stølen, O. (1993). Quinoa—morphology and phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. Eur. J. Agron. 2:19–29.

Jacobsen, E. E., Skadhauge, B., Jacobsen, S.-E. (1997). Effect of dietary inclusion of quinoa on broiler growth performance. Anim. Feed Sci. Technol. 65:5–14.

Jacobsen, S.-E., Jørgensen, I., Stølen, O. (1994). Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. J. Agric. Sci. 122:47–52.

Jacobsen, S.-E., Hill, J., Stølen, O. (1996). Stability of quantitative traits in quinoa (*Chenopodium quinoa*). Theor. Appl. Genet. 93:110–116.

Jacobsen, S.-E., J. L. Christiansen y J. Rasmussen. (2010). Weed harrowing and inter-row hoeing in organic grown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Outlook on Agriculture 39, 223–227.

Keskitalo, M. (1997). Quinoa (*Chenopodium quinoa*)—a new crop for Finland? Proceedings of COST-Workshop., 24–25/10 1997 Wageningen, The Netherlands: CPRO-DLO, pp. 99–102.

Lawn, R.J. (1989) Agronomic and physiological constraints to the productivity of tropical grain legumes and prospects for improvement. Experimental Agriculture 25: 509-528.

Lawn, R.J. (1989) Agronomic and physiological constraints to the productivity of tropical grain legumes and prospects for improvement. Experimental Agriculture 25, 509-528.

Lawn, R.J. R.J. Summerfield, R. H. Ellis, A.Qi, E.H. Roberts, P.M. Chay, J.B. Brouwers, J.L. Rose y S.J.

Yeates (1995) Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. VI. Applications in crop improvement. Experimental Agriculture 31: 89-108.

Limburg, H., Mastebroek, H. D. (1996). Breeding high yielding lines of *Chenopodium quinoa* Willd. with saponin free seed. Proceedings of COST-Workshop., 22–24/2 1996, European Commission EUR 17473/KVL, Copenhagen Copenhagen: KVL, pp. 103–114.

Lomholt, A. (1996). Biomass production of quinoa in Denmark. Proceedings of COSTWorkshop., 22–24/2 1996, European Commission EUR 17473/KVL, Copenhagen, pp. 142–145.

Mastebroek, H. D., Limburg, H. (1996). Breeding for harvest security in *Chenopodium quinoa*. Proceedings of COST-Workshop., 22–24/2 1996, European Commission EUR 17473/KVL, Copenhagen, Copenhagen: KVL, pp. 79–86.

Mastebroek, H. D., Marvin, H. J. P. (1997). Content of saponins in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Proceedings of COST-Workshop., 24–25/10 1997 Wageningen, The Netherlands: CPRO-DLO, pp. 103–115.

Mastebroek HD, Loo EN van, Doslstra O (2002) Combining ability for seed yield traits of *Chenopodium quinoa* breeding lines. Euphytica 125, Issue 3, pp 427-432

McElhinny E, Peralta E, Mazón N, Danial DL, Thiele G, Lindhout P (2007) Aspects of participatory plant breeding for quinoa in marginal areas of Ecuador. Euphytica 153:373-384

Mujica, A., Jacobsen, S.-E., Izquierdo, J., Marathe, J. P. (2001). Resultados de la Prueba Americana y Europea de la Quinoa. FAO, UNA-Puno, CIP, p. 51.

Naturerhverv. (2013). The Official List of Varieties. The Danish Gazette for Plant Varieties Year 32, 36pp.

Nicholls, F. H. (1996). New crop in the UK: from concept to bottom line profits. Janick, J., ed. Progress in New Crops. Alexandria, VA: ASHS Press, pp. 21–26.

Ohlsson, I. (1997). Quinoa—a potential crop for

- Sweden? Proceedings of COSTWorkshop., 24–25/10 1997 Wageningen, Países Bajos: CPRO-DLO, pp. 93–97.
- Pearsall, D., (1992). The origins of plant cultivation in South America. En: Wesley Cowan, C., Jo Watson, P. (Eds.), *The Origins of Agriculture. An International Perspective*. Smithsonian Institution Press, Washington, London, pp. 173–205.
- Repo-Carrasco, R., C. Espinoza & S.-E. Jacobsen. (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International* 19, 179–189.
- Risi, J., Galwey, N. W. (1984). The Chenopodium grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Adv. Appl. Biol.* 10:145–216.
- Risi, J., Galwey, N. W. (1989a). The Chenopodium grains of the Andes: a crop for temperate latitudes. Wickens, G. E., Haq, N., Day, P., eds. *New Crops for Food and Industry*. Londres/Nueva York: Chapman & Hall, pp. 222–234.
- Risi, J., Galwey, N. W. (1989b). The pattern of genetic diversity in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). I. Associations between characteristics. *Euphytica* 41:147–162.
- Risi, J., Galwey, N. W. (1991). Genotype x Environment interaction in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in temperate environments. *Plant Breed.* 107:141–147.
- Rowley-Conwy. P. (1982). Bronzealder kom fra Voldtofte (Bronze Age cereals from Voldtofte). *Kuml* 1 139–152.
- Rowley-Conwy, P. (2000). Through a taphonomic glass, darkly: the importance of cereal cultivation in prehistoric Britain, pp. 43–53 in Stallibrass, S. and Huntley, J.P. (eds.), *Taphonomy and Interpretation*. Oxford: Oxford Books.
- Schulte auf'm Erley G, Kaul H-P, Kruse M, Aufhammer W (2005). Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudo cereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy*, Volumen 22, Numero 1, enero 2005, paginas 95–100.
- Simmonds, N.W. (1965). The grain chenopods of the tropical American highlands. *Economic Botany* 19, 223–235
- Stokes P, y Rowley-Conwy P. (2002). Iron Age Cultigen? Experimental Return Rates for Fat Hen (*Chenopodium album* L.) *Environmental Archaeology* 7(95–99).
- Vietmayer N (1989) Lost crops of the Incas. National Academy Press, Washington D.C., 428 pp.
- Wilson H D (1990) Quinoa and relatives (*Chenopodium* sect. *Chenopodium* subsect. *Cellulata*). *Econ. Bot.* 44 (Suppl. 3), 92–110.
- Ørum, J.E., S.-E. Jacobsen, R. Choukr-Allah, M. Qadir. (2013). Yield response of quinoa to different nitrogen application rates under Mediterranean environment. Presentado para publicación



## CAPÍTULO 6.12

## TÍTULO: QUINUA D'ANJOU: COMIENZO DEL SECTOR DE QUINUA FRANCESA

\*Autor para correspondencia: Guillaume PIVA <[g.piva@groupe-esa.com](mailto:g.piva@groupe-esa.com)>

Autores: GUILLAUME PIVA <sup>a\*</sup>; CÉLINE BRASSE <sup>b</sup>; EMIRA MEHINAGIC <sup>b</sup>

<sup>a</sup> LUNAM Université, Groupe Ecole Supérieure d'Agriculture, UR LEVA, 55 rue Rabelais, BP 30748, F-49007 Angers cedex 01, France.

<sup>b</sup> LUNAM Université, Groupe Ecole Supérieure d'Agriculture, UR GRAPPE, Angers, France

Resumen<sup>1</sup>

El aumento significativo de las importaciones de quinua europea entre 2002 y 2007 (aumento de volumen de 1500T a 6000T con un crecimiento anual de 20 a 30%) y el precio por kilo de grano importado (cerca de 2€/kg) ha hecho posible la creación de un sector de quinua en Francia, apoyado por la región "Pays de La Loire" entre 2009 y 2012. Este proyecto ha reunido partes interesadas desde la producción de semillas (Abottagra) a cooperativas agrícolas (CAPAL) e investigadores (UR LEVA, UR Grappe del grupo ESA, Angers y la Universidad de Wageningen). El objetivo principal era desarrollar y operar la distribución comercial de la "quinua d'Anjou" y producir una semilla de calidad aceptable para consumidores: la meta inicial era cumplir con un área cultivada de 500 hectáreas y un rendimiento promedio de 3000 kg.ha<sup>-1</sup>. El apoyo científico estaba estructurado en tres componentes centrales: i) El establecimiento de una granja experimental y los vínculos con los productores de la Universidad de Wageningen ayudaron a iniciar el programa de fitomejoramiento de variedades adaptadas a las condiciones climáticas europeas; sin embargo, 3 variedades adaptadas sin saponina estaban disponibles para comenzar el proyecto (de un programa previo de fitomejoramiento liderado por la Universidad de Wageningen). ii) adaptación del manejo de cosechas a la agricultura europea (fecha de siembra y densidad/ fertilización con nitrógeno/cosecha etc.). iii) Y estudios organolépticos

<sup>1</sup> Nota de los autores: Los resultados de este proyecto son confidenciales, lo cual explica la falta de detalle en algunas partes del capítulo.

para identificar las diferencias entre la quinua andina y europea y las consecuencias para las industrias agro-alimentarias. Después de tres años, el sector comenzó a estar organizado: un grupo de productores regulares/ un procesamiento eficiente de semillas antes de su comercialización/ integración gradual de la producción por parte de las industrias agro-alimenticias e introducción de un sistema de comida local. Los resultados de los experimentos demostraron que el potencial de rendimiento es muy atractivo y la calidad de la semilla es diferente comparada con la quinua Andina.

El objetivo de este proyecto es desarrollar la producción y distribución comercial de la quinua en Francia y, más precisamente, en el Valle de Loire, buscando soluciones técnicas para la producción de semillas de calidad aceptable para los consumidores. Efectivamente, este producto de alto valor nutritivo aun no es producido en Europa, a pesar del aumento en la demanda del consumidor: las importaciones se cuadruplicaron entre 2002 y 2007 y el valor del mercado europeo está estimado en €25 millones.

**Ubicación geográfica y condiciones edafoclimáticas.**

El sector de la quinua francesa está ubicado en la región Pays de la Loire, más específicamente en Anjou (Figura 1). Esta área es muy diversa en producción de plantas: cosechas, productos vinícolas, horticultura, producción de semillas, con participantes del sector adaptados a la heterogeneidad de este producto.



**Figura 1.** Ubicación del área de producción en Francia

El ciclo de crecimiento de la quinua puede ser prolongado según la variedad (6 a 9 meses), por lo que la madurez de la variedad tardía no puede ser alcanzada en nuestras latitudes. Adicionalmente, el polen es muy sensible a las altas temperaturas (Jacobsen y Stolen, 1993), excluyendo a muchas regiones con riesgo de calor durante el inicio del verano. Sin embargo, se necesitan temperaturas más altas y luz solar al final del ciclo de crecimiento para asegurar el llenado de la semilla.

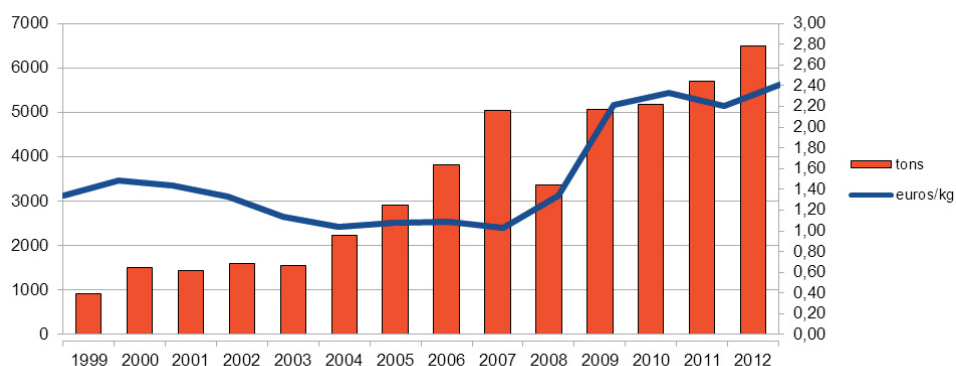
El clima en Anjou parece apropiado para el cultivo de quinua. Está caracterizado por temperaturas templadas entre marzo y agosto (promedio de 14,5°C) con temperaturas máximas de 23°C durante el periodo de llenado del grano (julio-agosto) y precipitaciones regulares de 280mm entre marzo y agosto. Sin embargo, hemos observado un aumento

en el estrés hídrico entre mayo y agosto durante los últimos 10 años.

Los tipos de suelo en el área de producción de la quinua son variados: el más común es el suelo limoso, también hay suelo arenoso (valle de Loire), y suelo calcáreo-arcilloso.

#### El contexto económico.

Al comienzo del proyecto, Francia era el mayor consumidor de la quinua en Europa y representaba casi la mitad del consumo europeo. Las importaciones europeas aumentaron entre 2002 y 2007; los volúmenes de importación de semilla de quinua en la UE aumentaron de 1500 toneladas a 6000 toneladas (Figura 2), con un crecimiento anual de 20% a 30%. Comparado con el trigo (125 millones toneladas/año), el mercado es pequeño, pero se destaca un alto potencial de crecimiento.



**Figura 2.** Datos de importaciones de la UE (Eurostat, 2013)

En 2008, los precios de importación variaron entre 1 a 1,50 euros/kg (Figura 2), precios causados tanto por el aumento en la demanda como por la baja producción en América del Sur debido a las condiciones climáticas y las limitaciones en la capacidad de producción. En 2002, el mercado estaba aún más estrecho: el precio de importación era de más de 2 euros/kg. Los precios de granos para los consumidores estaban en un rango de 3 a 6 euros/kg; el valor del mercado europeo era de alrededor de 25 millones de euros por año.

### **¿Puede ser económicamente viable un sector de quinua en Europa?**

Producir quinua en Europa es posible: las primeras experiencias en Europa hace 20 años muestran que, con genotipos insensibles a la duración del día, el rendimiento potencial en Europa es de entre 1 y 5 toneladas por hectárea. Los mejores resultados fueron obtenidos con variedades seleccionadas por genetistas de la Universidad de Wageningen en los Países Bajos (hasta 3-4 toneladas por hectárea).

Dos industrias agroalimentarias en Francia, líderes en la distribución de quinua convencional y orgánica en Francia, están muy interesadas, y sus exigencias podrían sobrepasar las 1000 toneladas por año tan pronto como se asegure el suministro.

En Europa, la quinua es un producto para el mercado dietético, y se requiere un producto libre de gluten y de residuos de pesticidas. Para lograr esto, las diferentes operaciones antes de la comercialización (recolección, secado, limpieza y almacenaje) deben ser específicas a la quinua y requieren de una fuerte inversión.

### **Una red de agricultores locales.**

Varios agricultores, miembros de la cooperativa CAPL (Cooperativa Agricole des Pays de la Loire) han acordado producir quinua. 20 agricultores produjeron “quinua d’Anjou” en 2009, 28 en 2010, 40 en 2011, y 38 en 2012. La superficie de siembra aumentó de 123 hectáreas en 2009 a 186 hectáreas en 2010 y a 400 hectáreas en 2011.

19 agricultores produjeron quinua por al menos 3-4 años y participaron activamente en el desarrollo del manejo de cultivos. Para estos agricultores, centrales a la red, la quinua es un cultivo muy interesante.

La suma de los costos para cultivar quinua ha

excedido el millón de Euros en cuatro años. El monto promedio pagado a los agricultores fue de €1400/hectárea y casi €2000/hectárea en 2012 debido a un mejor control del manejo de cultivos.

En la agricultura convencional, el rendimiento promedio es de más de 2 toneladas por hectárea y el mejor rendimiento es de más de 4,5 toneladas por hectárea. En agricultura orgánica, el rendimiento promedio se acerca a los 800 kg por hectárea y el mejor rendimiento es de más de 2 toneladas.

En el 2013, confiados en la capacidad de producción convencional pero desalentados por los altos precios del trigo convencional y la clara preferencia del mercado por la quinua orgánica, el grupo se enfocó casi exclusivamente en el desarrollo de quinua orgánica. Sin embargo, los rendimientos convencionales una vez más excedieron los 2000 kg/hectárea (dónde el mejor campo sobrepasó las 4 toneladas por hectárea) mientras que casi todos los campos orgánicos no lograron llegar a cosecha. La disponibilidad de nitrógeno natural durante las primaveras frías y húmedas parece ser el mayor problema que enfrenta la producción de quinua orgánica en Francia.

Mientras tanto, el interés de los compradores por la quinua convencional cultivada en Francia ha mejorado, así que en adelante, el grupo se enfocará en la producción convencional mientras estudia el desafío de la producción orgánica desde nuevos ángulos.

### **Recursos genéticos.**

La variabilidad genética de la especie promete soluciones genéticas a los problemas de calidad y rendimiento: fotoperiodo, precocidad, tamaño y color de semillas y ausencia de saponinas.

El proyecto Anjou se ha basado en las variedades Pasto y Atlas, desarrolladas por la Universidad de Wageningen de los Países Bajos. Wageningen comenzó el fitomejoramiento de la quinua en 1986 con dos fuentes de material genético: material amargo, insensible a la duración del día, de las tierras bajas chilenas y material bajo en saponina, de día corto, de Ecuador y Perú. Ambas variedades, Atlas y Pasto (con madurez temprana y un ciclo de crecimiento de 6 meses), están adaptadas a las condiciones climáticas de Europa de días largos y tienen un contenido de saponina muy bajo, niveles

inferiores a los que entregan un sabor amargo al grano. Mientras Atlas es una planta alta, frondosa, de floración tardía pero de senescencia rápida, Pasto es una planta enana y compacta de floración temprano y de senescencia lenta. Atlas y Pasto fueron protegidas por los derechos de los fitomejoradores en la Unión Europea en 1999 y 2007, respectivamente.

El éxito del proyecto Anjou ha llevado a Wageningen a aumentar significativamente su actividad de fitomejoramiento en los últimos años. En el futuro previsible, es muy probable que las variedades de quinua de Wageningen sean las más adecuadas para la producción comercial a gran escala en Francia.

### Adaptación del manejo de cultivo a las condiciones de agricultura Europea.

#### Siembra

La labranza del suelo es un paso clave: la semilla necesita un suelo fino y no tierra con terrones para asegurar el contacto suelo-semilla y para un porcentaje parejo y alto de emergencia. Una técnica clásica es arar luego de usar una grada rotativa.

El período entre febrero y el 15 de marzo es el mejor momento para la siembra, para evitar estrés hídrico durante el florecimiento y llenado del grano (no se recomienda la siembra durante abril, especialmente en los suelos predominantemente arenosos) y para evitar la alta competencia de maleza (particularmente con *Chenopodium album*). Adicionalmente, la semilla puede germinar en temperaturas muy bajas ( $-1^{\circ}\text{C}$ ) y la plantula resiste congelamiento a  $-6^{\circ}\text{C}$  durante 5 horas (Bois et al., 2006).

Dos años de ensayos han demostrado que la densidad

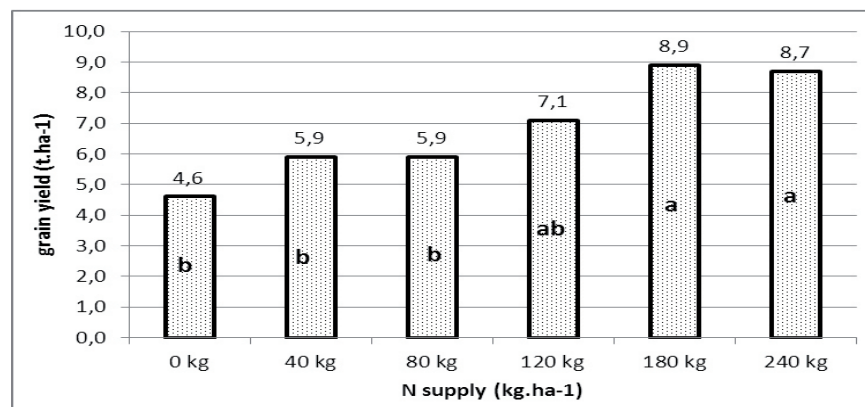
óptima es 70-140 plantas/m<sup>2</sup> con un espacio entre cada fila de 12,5 cm, lo cual corresponde a una velocidad de siembra de 8-10 kg / ha y una profundidad de siembra de 1-2 cm.

#### Fertilización con nitrógeno.

La respuesta de la planta al nitrógeno fue rápidamente identificada como un paso clave en el manejo del cultivo. Dos años de ensayos han demostrado que la necesidad de nitrógeno es de alrededor de 3.5 U de nitrógeno por quintal. El componente de rendimiento afectado por una deficiencia de nitrógeno es principalmente la cantidad de semillas por panoja; el peso y tamaño de la semilla se ven menos afectados por la necesidad de nitrógeno. El método de balance de nitrógeno (considerando el contenido de nitrógeno mineral del suelo y la mineralización de nitrógeno orgánico del suelo) es usado para determinar la entrada total de nitrógeno.

Los aportes de nitrógeno deben escalonarse para optimizar la absorción de N y minimizar el impacto ambiental (lixiviación de N), de hecho, ensayos de invernadero han demostrado que la absorción de nitrógeno aumenta altamente desde la etapa de panoja. Un consejo técnico para los productores es administrar la primera entrada de N en la etapa de 3-4 hojas (30 a 40 kg por hectárea) y una segunda entrada en la etapa de 8-10 hojas.

La relación entre el rendimiento y la necesidad de nitrógeno es lineal hasta una disponibilidad de nitrógeno de entre 170 y 230 kg de nitrógeno por hectárea, vinculado al potencial de rendimiento (en condiciones experimentales, el rendimiento máximo es de 10 toneladas por hectárea) (Figura 3).



**Figura 3:** Efectos de fertilizantes de nitrógeno en el rendimiento del grano (nitrógeno mineral del suelo antes del arado = 58 kg.ha<sup>-1</sup>), medios indicados por una letra diferente son significativamente diferente en  $P < 0,05$  (ANOVA)



### Control de plagas.

Un constante seguimiento y vigilancia de los cultivos permitieron identificar las principales plagas (actualmente, alticinos, áfidos, *cassida nebulosa*...), enfermedades (moho) y malezas de la quinua en nuestras condiciones edafoclimáticas. Finalmente, sembrar temprano con una densidad algo más elevada que la densidad óptima puede limitar las pérdidas debido a insectos y malezas, a pesar de que algunas especies siguen siendo problemáticas (*Chenopodium album*).

En la agricultura convencional, la aplicación de insecticida asegura el rendimiento sin residuos en los cultivos. Hemos obtenido el derecho a usar insecticidas (piretroides) en los cultivos según las regulaciones europeas establecidas para los cereales.

El control de la maleza ha sido estudiado en varios ensayos, pero las técnicas de desmalezado probadas han demostrado resultados insuficientes (grada, azada, el acolchado plástico y herbicidas antes de la siembra...).

### Cosecha.

La cosecha ocurre entre mediados de agosto y mediados de septiembre. El principal problema para la cosecha mecánica son las condiciones climáticas durante las etapas de maduración, que afectan la tasa de humedad de la semilla y la senescencia de la hoja. Cosechar un cultivo en "verde" induce un mal funcionamiento de la cosechadora y pérdidas importantes del grano. Una técnica alternativa, arar cuando madure el grano y la colocación de hileras, reduce la pérdida de grano y no deteriora la calidad del grano. El ajuste ideal de la cosechadora es muy similar a la de los cereales, pero algunos parámetros deben ser ajustados, especialmente para restringir las fragmentaciones durante el arado y la contaminación por las partículas del suelo.

Casi todos los campos fueron cosechados por dos estructuras agrícolas especializadas en la cosecha de quinua (equipo específico, máquinas de limpieza y ajustes de optimización).

### Almacenamiento y procesamiento de los granos antes de su comercialización.

La cooperativa agrícola que desarrolla la red de agricultores, CAPL (Coopérative Agricole Pays de la Loire, por sus siglas en francés), ha establecido una cadena específica para la quinua (silo/ camiones/ cajas con doble fondo) para evitar la contaminación (con gluten o con semillas de otra especie); ningún agricultor entrega sus cultivos directamente al silo.

Se ha desarrollado una estación de trabajo del grano, específicamente para limpiar la quinua con un cepillo para aclarar los granos más oscuros. Una mesa densimétrica para remover arena arrojada por la técnica de cultivo de segado y la formación de hileras. Luego, las semillas de quinua fluyen a un seleccionador óptico para remover las semillas grises y negras. Finalmente, las semillas fluyen a una serie de cribas para clasificar el producto según el tamaño de la semilla.

### Estudios de calidad de la "Quinua d'Anjou" en comparación con la quinua importada.

Las quinuas d'Anjou experimentales y comerciales han sido comparadas con la *Quinua Real* comercial originaria de Bolivia en términos de propiedades físicas y sabor. Hay muchas diferencias entre los granos de la quinua Anjou y Real debido a los efectos de la variedad en los parámetros de calidad. Los granos de quinua Anjou son más castaños y más pequeños que los granos de América del Sur, con un sabor más fuerte y un aroma específico al cocinarlos (Cuadro 1).

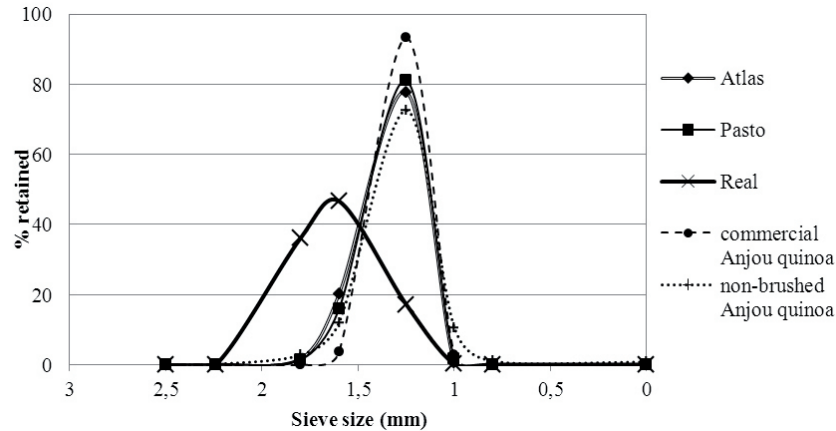
**Cuadro 1:** Color de las variedades de quinua experimentales \*L = nota de claridad \*C = croma (saturación) \*T = ángulo de tono (parámetro color) medios en la misma fila seguidos por la misma letra no son significativamente ( $P < 0,05$ ) diferentes por una prueba LSD

Variety	L*	C*	h*
Atlas	64.56 <sup>a</sup>	24.52 <sup>a</sup>	79.40 <sup>a</sup>
Pasto	64.07 <sup>a</sup>	26.00 <sup>a</sup>	77.92 <sup>a</sup>
OS	61.04 <sup>a</sup>	26.93 <sup>a</sup>	77.09 <sup>a</sup>
Real	79.82 <sup>b</sup>	20.33 <sup>b</sup>	84.65 <sup>b</sup>

Las prácticas agrónomas como la fertilización con nitrógeno no tienen impacto en el tamaño del grano, pero estos tienden a ser más oscuros con el aumento del suministro de nitrógeno.

impactar la calidad del grano de Anjou. Cepillar la superficie del grano ligeramente reduce el promedio del tamaño del grano, así como la heterogeneidad del tamaño (Figura 4).

Los tratamientos post-cosecha también pueden



**Figura 4.** Distribución del tamaño de partícula de las variedades de quinua obtenidas mediante el tamizado y la influencia del tratamiento posterior a la cosecha

Usos y Mercados: Las diferencias entre las quinuas de Anjou y de América del Sur también han sido investigadas. Varios métodos de cocción pueden ser utilizados y el tiempo y el volumen de agua necesarios pueden variar dependiendo del origen de la quinua: la quinua de Anjou requiere de un tiempo de cocción más largo (Cuadro 2) o necesita más agua que la *Quinoa Real* (Cuadro 3).

**Cuadro 2:** Tiempo de cocción de las variedades de quinua experimentales medios en la misma fila seguidos por la misma letra no son significativamente ( $P < 0,05$ ) diferentes por una prueba LSD

Variety	Cooking time (min)
Atlas	18.85 <sup>b</sup>
Pasto	19.56 <sup>b</sup>
QS	19.79 <sup>b</sup>
Real	14.50 <sup>a</sup>

**Cuadro 3:** Tiempo de cocción y volumen de agua para la cocción de quinua comercial

Método de cocción	Quinoa de Anjou		Quinoa Real	
	1 parte líquida a 1 parte quinua (vol)	tiempo de cocción (min)	1 parte líquida a 1 parte quinua (vol)	tiempo de cocción (min)
Hervor	exceso de agua	17	exceso de agua	14,5
Absorción	4	15	3	15
Pilaf/'au gras'	3,5	20	3	20
Al vapor por horno	2	60	1,6	60

## Conclusiones.

El sector francés se está comenzando a afirmar, debido a la estabilización de la red de agricultores y la demanda agro-alimentaria. Adicionalmente, debido al éxito de la cadena de suministro de quinua en Anjou, se está realizando un proyecto para desarrollar un sector en Bélgica. Algunos aspectos del manejo del cultivo deben continuar puliéndose, como la reducción de pérdidas durante el proceso de cosecha y el control de malezas, especialmente en la producción orgánica: se están estudiando cultivos intercalados con legumbres. Existe poco conocimiento científico y técnico acerca de la fertilización con nitrógeno y las prácticas de desmalezado de la quinua en Francia. Las legumbres como cultivo intercalado proveen servicios de ecosistema: la fijación de nitrógeno y competición contra las malezas.

## Agradecimientos.

Los autores desean agradecer a los principales asociados de este proyecto: la empresa Abottagra y la Cooperative Agricole des Pays de la Loire (CAPL). Los autores agradecen a Pays de la Loire Region y Vegepolys por su apoyo económico.

## Referencias.

- Bertero H.D., King R.W., Halla. J., (1999). Photoperiod-sensitive development phases in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research* 60. pp. 231-243
- Berti, C., Riso, P., Monti, L., Porrini, M., (2004). In vitro starch digestibility and in vivo glucose response of gluten-free products and their gluten counterparts. *Eur. J. Nutr.* 43(4), 198-204.
- Bois J.F., Winkel T., Lhomme J.P., Raffaillac J.P., Rocheteau A., (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of agronomy*, 25. pp. 299-308.
- Bosque H., Lemeur R., Van Damme P., Jacobsen S.E., (2003). Ecophysiological Analysis of Drought and Salinity Stress of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*. 19:111-119.
- Cranshaw W.S., Boris C.K., Tianrong Q., (1990). "Insects Associated with Quinoa, *Chenopodium quinoa*, in Colorado. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 63(1). 1990, pp. 195-199
- Del Castillo G.C.R., (2008). Diversité génétique et réponse aux contraintes du climat: une étude de cas à partir de la biologie de population de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) de Bolivie. Thèse de doctorat. Gembloux : Faculté universitaire des Sciences Agronomiques, 143p.
- Erley, G. S. a. m., H.-P. Kaul, et al. (2005). "Yield and nitrogen utilization efficiency of the Pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization." *European Journal of Agronomy* 22(1): 95-100.
- Galwey N.W., (1993). The potential of quinoa as a multi-purpose crop of agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and Products*, 1: 101-106.
- Gesinski K., (2008). Evaluation of the development and yielding potential of *Chenopodium quinoa* Willd. under the climatic conditions of Europe. *Acta Agrobotanica* 61 (1) : 185-189.
- Gorinstein, S., Lojek, A., Ciz, M., Pawelzik, E., Delgado-Licon, E., Medina, O., Moreno, M., Salas, I., Goshev, I., (2008). Comparison of composition and antioxidant capacity of some cereals and pseudocereals. *Int. J. Food Sci. Technol.* 43, 629 – 637.
- Jacobsen S.E., (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19:1, 167-177.
- Jacobsen S.E., Jorgensen I., Stolen O., (1994). Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. *Journal of Agricultural Science*. 122:47-52.
- Jacobsen S.E., Monteros C., Christensen J.L., Bravo L.A., Corcuera L.J., Mujica A., (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy*, 22: 131-139.
- Jacobsen S.E.; Stolen O., (1993). Quinoa - Morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *European Journal of Agronomy*. 2:19-29.

- James, L., (2009). Quinoa : Composition, chemistry, nutritional and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58, Elsevier Inc. 31p.
- Konishi, Y., Hirano, S., Tsuboi, H., Wada, M., (2004). Distribution of minerals in quinoa seeds. *Biosci., Biotechnol., Biochem.*, 68(1), 231 – 234.
- Lebonvallet S., (2008). Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'Altiplano Bolivien. Doctorat Agronomie, INRA Avignon Agroclim, AgroParistech, p. 244.
- Masson y Mella, (1985). Materias grasas de consumo habitual y potencial en Chile. Ed. Universitaria, pp.23, Santiago.
- Mastebroek, H.D., van Loo E.N., and Dolstra, O., (2002). [Combining ability for seed yield traits of \*Chenopodium quinoa\* breeding lines](#). *Euphytica*, 125, 427-432
- Medina, W., O. Skurtys, et al., (2010). Study on image analysis application for identification Quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd) geographical provenance. *LWT - Food Science and Technology* 43(2): 238-246.
- Prego, I., Maldonado, S., Otegui, M., (1998). Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Ann. Bot.* 82, 481 – 488
- Pulvento C., Riccardi M., Lavini A., D'andria R., Iafelice G., Marconi E., (2010). Field Trial Evaluation of Two *Chenopodium quinoa* Genotypes Grown Under Rain-Fed Conditions in a Typical Mediterranean Environment in South Italy. *Journal of Agronomy and Crop Science*, doi: 10.1111/j.1439-037X.2010.00431
- Risi J.C., Galwey N.W., (1991). Genotype x environment interaction in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in temperate environments. *Plant Breeding* 107. pp. 141-147.
- Ruales J., Nair B.M., (1993). Saponins, phytic acid, tannins and protease inhibitors in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Food Chemistry*, v.48, p.137-143, 1993.
- Sigsgaard L., Jacobsen S., Christiansen J., (2008). Quinoa, *Chenopodium quinoa*, provides a new host for native herbivores in northern Europe: Case studies of the moth, *Scrobipalpa atripicella*, and the tortoise beetle, *Cassida nebulosa*. 4pp. *Journal of Insect Science* 8:49,
- Thoufeek, A., Rekha, S., Pushpa, K., Mohinder, P., (1996). Physicochemical and functional properties of *Chenopodium quinoa* starch. *Carbohydrate Polymers*, 31, 99 – 103.
- Vilche, C., Gely, M., Santalla, E., (2003). Physical properties of quinoa seeds. *BioSys, Eng.* 86(1), 59 – 65.



**CAPÍTULO: 6.13.****TÍTULO: LA QUINUA EN ITALIA:  
INVESTIGACIÓN Y PERSPECTIVAS**

\*Autor para correspondencia: Cataldo PULVENTO <[cataldo.pulvento@isafom.cnr.it](mailto:cataldo.pulvento@isafom.cnr.it)>

C. PULVENTO<sup>\*a</sup>, M. RICCARDI<sup>a</sup>, S. BIONDI<sup>b</sup>, F. ORSINI<sup>c</sup>, S.-E. JACOBSEN<sup>d</sup>, R. RAGAB<sup>e</sup>, R. D'ANDRIA<sup>a</sup>, A. LAVINI<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> CNR – Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (ISAFoM), Ercolano (NA), Italia.

<sup>b</sup> Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, via Irnerio 42, 40126 Bologna, Italia

<sup>c</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Università di Bologna, viale Fanin 44, 40127 Bologna, Italia

<sup>d</sup> Facultad de Ciencias, Universidad de Copenhague, Højbakkegaard Allé 13, 2630 Taastrup, Dinamarca

<sup>e</sup> Centro para la Ecología e Hidrología (CEH), Wallingford, Reino Unido

**Resumen**

Se ha llevado a cabo un creciente número de estudios sobre la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) durante los últimos años en Italia. El interés por este cultivo de semilla andino se debe principalmente a su resistencia al estrés abiótico, en particular a la sequía y la salinidad, que afectan los agro-ecosistemas mediterráneos, y al alto valor nutritivo de sus semillas. Las principales actividades de investigación en Italia se enfocan actualmente en los aspectos agronómicos, biológicos, y nutricionales de la quinoa. Se han llevado a cabo varias pruebas de campo en el CNR-ISAFoM de Ercolano (Nápoles) para evaluar, en términos de crecimiento, rendimiento, y aspectos fisiológicos, la adaptabilidad de la quinoa a las condiciones edafoclimáticas de Italia, y la respuesta del cultivo a las diferentes prácticas de gestión agronómica. También se llevaron a cabo análisis químicos y de producto pos-cosecha para evaluar la calidad de la semilla y su aptitud para el procesamiento de alimentos. La tolerancia de la quinoa al estrés salino fue investigada en condiciones ambientales controladas en la Universidad de Bologna, donde se analizaron las respuestas morfológicas y metabólicas.

Todos estos estudios fueron conducidos dentro de proyectos de investigaciones nacionales e internacionales, con la colaboración de centros de investigación (CEAZA, Chile) y universidades extranjeras (Universidad de Copenhague), principalmente utilizando material seleccionado en Dinamarca u originario de la región andina. En este capítulo se describirán los resultados de las principales actividades de investigación llevadas a cabo en la última década por instituciones italianas, y se examinarán las perspectivas para introducir el cultivo de la quinoa en los sistemas de cultivo italianos.

**1. Introducción.**

La península italiana en forma de “bota” se extiende como un puente natural en el mar mediterráneo entre los continentes de Europa y África (Figura 1).

Italia tiene una gama de climas diferentes: Clima alpino mediterráneo, peninsular y el clima del Valle de Po, debido a su forma larga que cuenta con la presencia de altas montañas (Alpes y Apeninos) y la proximidad del Mar mediterráneo. El resultado es la transición entre los climas tropical seco y temperado, y como consecuencia se puede



**Figura 1.** Península italiana destacada en verde.

encontrar una amplia gama de cultivos agrícolas. Cultivos extensos como trigo y maíz se encuentran comúnmente en el valle de Po, mientras que viñas, olivos, huertos de cítricos y el cultivo de verduras ocupan las tierras agrícolas de Italia central y del sur.

La mayoría de las granjas italianas (aproximadamente el 75%) tienen una producción especializada: 21,3% en olivo; 12,2% en cereales, semillas oleaginosas y cultivos proteicos, 9,9% de viñas, 10,5% con cultivos mixtos y 10,4% como campos de cultivos generales (EUROSTAT, 2009)

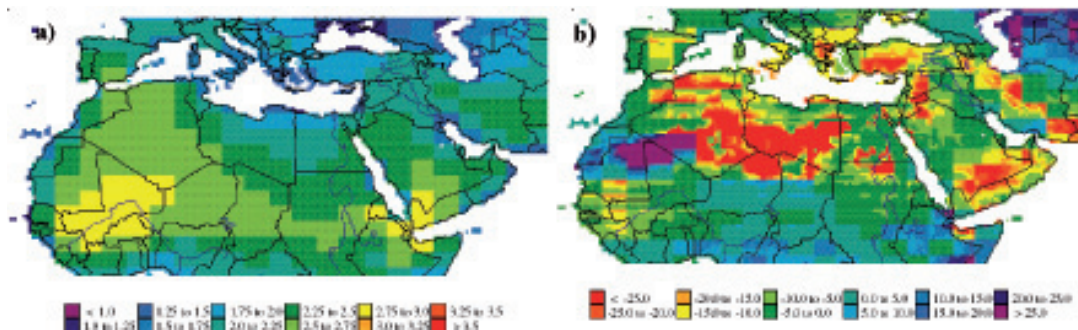
Según datos del Sexto Censo General de la Agricultura del Instituto Nacional de Estadística Italiano (ISTAT), el SAU (Superficie Agrícola Utilizada) durante el 2010 fue de aproximadamente 12,8 millones de ha, de las cuales cerca de 2,4 millones de hectáreas (19% del SAU) son irrigadas. El agua

es un factor estratégico para el desarrollo de la agricultura; se calcula que aproximadamente el 40% de la producción agrícola depende de cultivos irrigados (INEA, 2011).

Ya que una gran parte de la producción agrícola italiana depende de la disponibilidad de agua de irrigación, se ve realmente amenazada por el cambio climático.

Se predice que el clima cambiará como resultado del calentamiento global, con veranos más secos y más calurosos en la región mediterránea, con temporadas secas y calurosas en toda Europa (-- IPCC, 2007).

Los escenarios de cambio climático para la cuenca mediterránea hasta el 2050 (Figura 2) muestran una clara tendencia a una disminución del 10-15% en la precipitación, un aumento en la duración de la temporada seca, y un aumento de 1,25-2,5°C en la temperatura (Ragab y Prudhomme, 2002).



**Figura 2:** Cambios previstos en la temperatura aérea anual (a) y la precipitación (b) en la cuenca mediterránea para la década del 2050 (Ragab y Prudhomme, 2002).

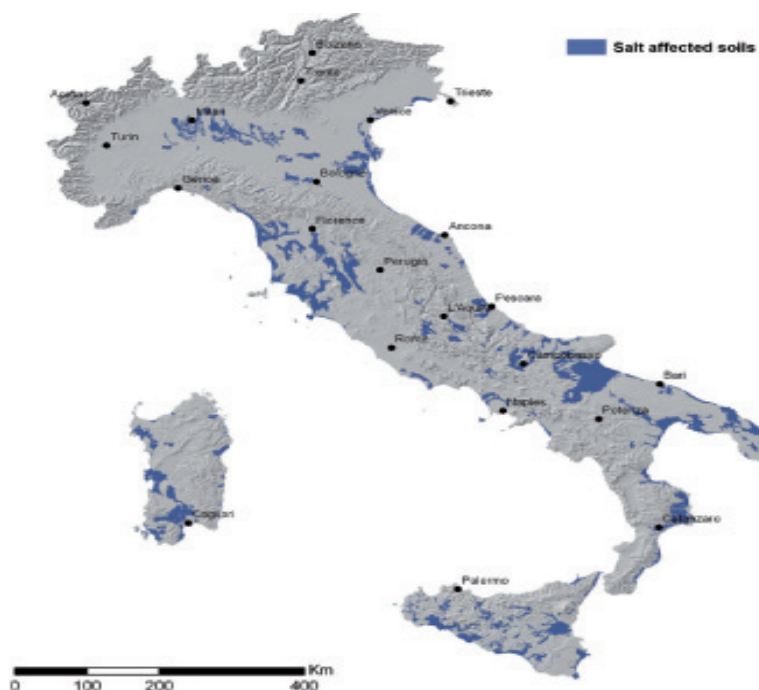
El Ministerio Italiano del Medioambiente, Tierra y Mar, confirmó en la quinta comunicación nacional bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que la temperatura media en Italia durante las últimas décadas ha aumentado más que la media mundial. En particular, en 2006 el aumento en la temperatura media en Italia para el periodo de referencia de 30 años, entre 1961-1990, ha sido de aproximadamente 1°C en comparación con un aumento en la media global de 0,5°C.

Muchos estudios acerca de la precipitación en Italia mostraron tendencias anuales negativas importantes para las regiones del sur: Campania, Basilicata, Calabria y Sicilia registraron hasta un 20% de reducción en la caída de lluvias, con un aumento en el número de eventos de precipitación sumamente intensa.

La reducción de la precipitación y el aumento en la intensidad de la misma obviamente afectan la disponibilidad total de recursos hídricos en el suelo y la extensión del área agrícola, resultando en mayor escorrentía y erosión de los suelos, menos acumulación de agua en los reservorios, y una disponibilidad reducida de agua para propósitos de irrigación. Además, un clima más cálido y la sequía conducen a un aumento de la demanda de evapotranspiración de los cultivos.

Bajo estas condiciones los recursos hídricos se vuelven un factor cada vez más limitante, llevando a empeorar la competencia entre usos agrícolas, urbanos e industriales.

La disponibilidad de agua se relaciona no sólo con las condiciones climáticas de las distintas áreas geográficas, sino que también a factores socioeconómicos y los problemas asociados al deterioro de la calidad del agua debido a la contaminación ambiental (Kirnak, 2006). El uso intensivo de recursos hídricos limitados provoca una extracción excesiva de aguas subterráneas, con la consiguiente intrusión de agua de mar en las áreas costeras y la subsiguiente salinización de los suelos (Pagliuca et al., 2009; Navarro et al., 2007), un fenómeno que se vuelve más y más evidente en periodos de requisitos hídricos máximos para los cultivos, cuando el agua se vuelve un factor limitante para su productividad (Maas y Hoffman, 1977). Los problemas de escasez de agua y salinización de los suelos (Fig. 3) ya existen en muchas áreas agrícolas de Italia; los procesos de salinización secundaria de los suelos debido al uso de aguas saladas para irrigación afectan aproximadamente 3,2 millones de hectáreas, encontradas en la mayoría de las regiones italianas con diferentes grados de salinización (Dazzi y Lo Papa, 2013).



**Figura 3.** Las áreas destacadas en azul indican aquellas áreas italianas donde es posible encontrar suelos afectados por la sal (Dazzi y Lo Papa, 2013).

De hecho, se piensa que dentro de los próximos 25 años la salinización puede resultar en pérdidas de un 30% de la tierra agrícola actual, y se estima que este valor aumentaría en hasta un 50% de aquí al 2050 (Altman, 1999; Ashraf, 1994) debido, también, al rápido aumento de la población.

Algunos estudios muestran cómo el cambio climático producirá efectos mixtos en la fenología y rendimiento de los cultivos:

- Moriondo y Bindi (2007) mostraron que la creciente temperatura simulada por MCRs (Modelos Climáticos Regionales) y MCGs (Modelos Climáticos Globales) en la cuenca mediterránea se espera que induzca un desarrollo más temprano de los cultivos y una reducción del largo de la temporada de crecimiento de cultivos típicos mediterráneos como el trigo durum (*Triticum turgidum* L.), girasoles (*Helianthus annuus* L.) viñas (*Vitis vinifera* L.) y aceitunos (*Olea europea* L.); estas respuestas podrían permitir que algunos cultivos eviten el estrés de la sequía estival, pero al mismo tiempo podrían implicar una mayor posibilidad de ocurrencia de eventos climáticos extremos (por ejemplo, olas de heladas y de calor) en etapas fenológicas sensibles que afectarían la calidad y cantidad del rendimiento final.

- El cultivo del olivo, cítricos, uvas y trigo durum se volvería posible en el norte de Italia, mientras que en el sur, el maíz sufriría como consecuencia del alargamiento esperado del periodo de crecimiento (por aproximadamente 10-15 días por cada aumento de 1°C en la temperatura promedio anual) y el acortamiento consiguiente de los periodos fríos de invierno; esto afectaría directamente tanto a las prácticas agrícolas (por ejemplo, la necesidad de introducir nuevos cultivares y especies) como a las industrias agrícolas y de transformación (por ejemplo, cambios en la asignación o aumentos en los costos de transporte) (Wolf y Menne, 2007).

Una de las opciones que tiene la agricultura italiana para adaptarse a estos cambios es introducir especies capaces de tolerar sequías, heladas, y la alta salinidad de los suelos, mientras aseguran rendimientos aceptables. Un cultivo tal es la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), que, en comparación con los cultivos tradicionales, muestra una mayor resistencia a los factores abióticos adversos (Jacobsen et al., 1994, 2009).

La quinua, según ha sido descrita por muchos autores, es una especie halófila facultativa con algunos cultivares que son capaces de crecer bajo condiciones salinas extremas hasta una conductividad eléctrica de los suelos de 52 dS m<sup>-1</sup> (Adolf et al., 2012; Shabala et al., 2013).

Gracias a su resistencia al estrés abiótico, la quinua podría ser cultivada exitosamente en aquellas áreas más afectadas por el cambio climático (Jacobsen et al., 2012) o en áreas marginales menos idóneas para los cultivos comunes, y satisfacer la creciente demanda del mercado de los alimentos saludables.

La quinua también es importante por el alto valor nutricional de sus semillas; su contenido de proteínas es superior al de los cereales comunes, variando entre 12% y 20% del peso seco de la semilla.

De hecho, la principal característica valiosa de la quinua es la calidad de sus proteínas, que contienen aminoácidos esenciales en cantidades cercanas al equilibrio humano necesario (Schlick, G., y Bubenheim, 1996). Su composición equilibrada hace la proteína de quinua comparable a las proteínas de la leche (caseína).

Además, se conoce comúnmente que las semillas de quinua son libres de gluten, por lo que ofrecen una alternativa a los cereales normales en las dietas celíacas; por esta razón la Asociación Italiana de Celíacos (AIC) incluyó a la quinua en la lista de comidas para celíacos.

La quinua también podría ser una alternativa fascinante a los cultivos tradicionales, cuyo cultivo ha disminuido en los últimos años por motivos de políticas agrícolas. El sector del tabaco en Italia ha sido reformado por la Política Agrícola Común en 2003, desconectando las subvenciones al tabaco de la producción. La producción de tabaco en Italia durante 2011 fue de aproximadamente 70,000 toneladas, obtenidas en más de 8,900 ha. En comparación con el 2010, estos datos muestran una reducción del 20%, tanto en términos de volumen, como también en área, y la reducción es aún mayor al compararla con la situación antes de la aplicación de la reforma, es decir, antes del 2005. El efecto del cambio climático en la agricultura, el aumento de la demanda por alimentos sanos y los cambios en las políticas agrícolas son las principales razones para el creciente interés en la quinua en los últimos años en Italia.



Varios estudios han sido realizados en los últimos años en Italia para evaluar la adaptabilidad de la quinua a las condiciones edafoclimáticas de Italia bajo diferentes prácticas de gestión agronómica y su respuesta a diferentes estreses abióticos, en particular la sequía y la salinidad.

## **2. Actividades de investigación.**

Se están llevando a cabo importantes actividades de investigación acerca de la quinua en Italia, en el Instituto para Sistemas Agrícolas y de Bosques en el Mediterráneo del Consejo Nacional de Investigación Italiano (CNR-ISAFoM) ubicado en Ercolano-Nápoles y en la Universidad de Bologna.

### *2.1. Trabajos de investigación a campo abierto.*

Desde el 2006 se han llevado a cabo varias pruebas de campo en ISAFoM-CNR para probar la quinua como cultivo. Los objetivos de estos estudios fueron evaluar las respuestas cuantitativas y cualitativas de la quinua bajo estrés abiótico combinado (estrés por sequía y sal) y su adaptabilidad en el ambiente Mediterráneo del sur de Italia. La actividad de investigación se ha enfocado principalmente en los aspectos agronómicos, biológicos y nutricionales de la quinua, y su fin es evaluar el potencial impacto de la quinua en los agro-ecosistemas italianos. Las salidas de las pruebas agronómicas han sido utilizadas para modelamiento de cultivos para poder gestionar y planificar mejor el cultivo de la quinua bajo diferentes condiciones ambientales.

#### *2.1.1. Proyectos y colaboraciones.*

Todas las actividades de investigación en la quinua fueron llevadas a cabo por ISAFoM dentro del contexto de proyectos de investigaciones nacionales e internacionales (Etiqueta 1) en cooperación con universidades y centros de investigación italianos y extranjeros. Durante 2006-2007, la quinua fue estudiada dentro del proyecto «CO.AL.Ta.II» (Cultivos alternativos al tabaco) fundado por la Comunidad europea (CE). El objetivo del proyecto fue explorar la posibilidad de diversificar las áreas tradicionales de cultivo de tabaco en Italia, como la provincia de Caserta, después de la reforma CAP para el sector del tabaco (EG Nr. 864/2004 del 29 de Abril, efectivo desde el 1º de Enero de 2006). La quinua fue probada como un posible cultivo alternativo para aquellas áreas; dada su rusticidad y los altos valores nutricionales de sus semillas, la quinua

podría asegurar ingresos y empleos satisfactorios, sin requerir de subvención. Durante el Co.AL.Ta. II los estudios de proyectos acerca de la calidad de semillas y en particular acerca del contenido de saponinas fueron llevados a cabo en colaboración con el Departamento de Tecnología de los Alimentos (DISTAAM) de la Universidad de Molise.

Desde el 2008 hasta el 2013 ISAFoM-CNR participó como socio en el proyecto de la UE «Uso sustentable del agua asegurando la producción de alimentos en áreas secas de la región Mediterránea» (SWUP-MED). Las tareas de ISAFoM dentro del proyecto fueron: a) probar cultivos nuevos tales como la quinua y el amaranto, con potencial para lidiar con los múltiples factores de estrés en el ambiente Mediterráneo del sur de Italia; b) aplicar intervenciones agronómicas sostenibles e identificar prácticas culturales idóneas para mitigar los numerosos estrés abióticos a fin de estabilizar y mejorar el rendimiento y calidad de cultivos y especies seleccionadas; c) utilizar los modelos para encontrar las mejores prácticas que integran la gestión del agua, de cultivos y de los campos, ahorrando agua dulce, produciendo un rendimiento óptimo, y protegiendo el medio ambiente.

La actividad de investigación con la quinua dentro del proyecto SWUP-MED fue realizada en colaboración con el Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, (IAV, Marruecos), el Centre for Ecology & Hydrology de Wallingford (Reino Unido), (CEH), el Centro Internacional de Investigación Agrícola en Áreas Secas (ICARDA) de Alepo (Siria), la Facultad de Agricultura de Cukurova (UWA, Turquía) y la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad de Copenhague (UCPH) en Dinamarca.

En 2010 se llevó a cabo la actividad de modelamiento del cultivo de quinua, utilizando el modelo SALTMED en colaboración con el CEH dentro del programa Short Term Mobility (STM) fundado por el CNR italiano.

Desde el 2011 al presente, la quinua ha sido probada dentro del proyecto «CISIA», financiado por el CNR italiano, cuyo objetivo es mejorar la valorización y sustentabilidad de los productos agro-alimenticios del sur de Italia. Desde el 2013 en adelante, todo el conocimiento y resultados obtenidos serán difundidos a los agricultores y partes interesadas de la región de Campania dentro del proyecto «Quinua

Felix - Introducción de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la región de Campania para una producción de alimentos de alto valor nutricional y funcional», en colaboración con la Universidad de Molise, el Instituto-CNR de Ciencias de los Alimentos (ISA) en Avellino; en el proyecto «Quinoa Felix» también están involucradas una granja privada,

ubicada cerca a Avellino, donde el cultivo de quinua será introducido en un área inicial de 1 ha, y una panadería industrial local que producirá productos locales usando harina de quinua. Durante el proyecto se evaluará la posibilidad de esparcir el cultivo y uso de la quinua a otros empresarios locales.

**Cuadro 1** - Actividades de investigación llevadas a cabo en diferentes genotipos de quinua por ISAFoM - CNR dentro de diferentes proyectos. También se informan las actividades en curso y aquellas planificadas para el 2014.

Year	Genotype	Origin	Project	Experimental site
2006-2007	Q52 (Titicaca)	Denmark*	Co.AL.Ta. II	Vitulazio
2006-2007	Regalona Baer	Chile	Co.AL.Ta. II	Vitulazio
2009-2012	Titicaca	Denmark*	SWUP-MED	Vitulazio
2011-2012	Puno	Denmark*	SWUP-MED	Vitulazio
2011-2012	Kurmi	Bolivia	SWUP-MED	Vitulazio
2011-2012	Real	Bolivia	SWUP-MED	Vitulazio
2011-2012	Blanquita	Bolivia	SWUP-MED	Vitulazio
2011-2012	Janca Grano	Bolivia	SWUP-MED	Vitulazio
2011-2012	Jujuy Rosada	Argentina	SWUP-MED	Vitulazio
2012-2014	Titicaca	Denmark*	Quinoa Felix	Vitulazio-Avellino-Ercolano
2012-2014	Puno	Denmark*	Quinoa Felix	Vitulazio-Avellino
2012-2014	Kurmi	Bolivia	CISIA	Vitulazio
2012-2014	Real	Bolivia	CISIA	Vitulazio
2012-2014	Blanquita	Bolivia	CISIA	Vitulazio
2012-2014	Janca Grano	Bolivia	CISIA	Vitulazio
2012-2014	Jujuy Rosada	Argentina	CISIA	Vitulazio
2012-2014	Amarilla de Marangani	Peru	CISIA	Vitulazio

\*selected from material originating from a cross between southern Chilean and Peruvian lines

### 2.1.2. Recursos genéticos.

*Chenopodium quinoa* Willd es un cultivo de semilla originario de los Andes, que presenta una alta variabilidad genética; el origen de la domesticación de la quinua parece estar ubicada en el área cercana al Lago Titicaca (Gandarillas, 1979; Pearsall, 1992), donde existe la mayor diversidad y variación genética. Diversas instituciones bolivianas tienen los bancos de germoplasma más importantes del mundo para esta especie, representando más de 2700 accesiones (del Castillo et al., 2007). Ya que no hay una variedad de quinua domesticada en Italia, los estudios acerca de la quinua en ISAFoM fueron realizados utilizando semillas con distintos orígenes

recibidas de instituciones extranjeras. En particular, los cultivares daneses Puno y Titicaca (Razzaghi et al 2012), seleccionados de material originario del sur de Chile; una variedad chilena llamada “Regalona Baer”; cuatro cultivares bolivianos, “Kurmi”, “Janca grano”, “Blanquita”, y “Real”; una variedad peruana “Amarilla de Marangani”, y el cultivar “Jujuy rosada”, originario de Argentina, fueron puestos a prueba.

### 2.1.3. Experimentos y resultados.

Desde el 2006, se llevaron a cabo diferentes pruebas de campo en la estación de investigación de ISAFoM ubicada en Vitulazio en la planicie del río Volturno (Fig. 4) (14°50'E, 40°7'N; 25 m sobre el nivel del mar), un área irrigada del sur de Italia.

La tierra del sitio de prueba se caracteriza por una textura arcillo-limosa.

Las principales prácticas agronómicas aplicadas durante las pruebas de campo fueron la preparación de semilleros realizadas justo antes de la siembra con dos tipos de labranza- con una grada de disco y con una grada rotatoria, y con control de malezas manual entre las filas a lo largo del ciclo de

crecimiento (Jacobsen et al., 2010). La fertilización fue con 80 kg N ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )  $\text{ha}^{-1}$  y 40 kg P ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )  $\text{ha}^{-1}$ . La cantidad de nitrógeno fue dividido en dos partes iguales y suministrado durante la siembra y nuevamente durante el crecimiento vegetativo antes de la floración. La quinua fue cosechada manualmente.



**Figura 4** – Planicie del río Volturno (Pagliuca et al., 2009).

Durante el 2006-2007 se realizó una prueba de campo bianual dentro del proyecto Co.Al.Ta.II para evaluar el efecto de las diferentes fechas de siembra (5 de Abril y 4 de Mayo) sobre el rendimiento y la calidad de las semillas de dos genotipos de quinua, Titicaca (KVLQ52) (Fig. 5) y Regalona Baer (Fig. 6) bajo condiciones de secano (Pulvento et al., 2010).



**Figura 5** – Quinua cv. Titicaca cultivada bajo condiciones de secano en la estación de investigación CNR-ISAFoM ubicada en Vitulazio (CE) en la prueba de campo del 2007.



**Figura 6** - Quinua Regalona Baer cultivada bajo condiciones de secano en la estación de investigación CNR-ISAFoM ubicada en Vitulazio (CE) en la prueba de campo del 2007.

Los resultados (Cuadro 2) mostraron que en las condiciones climáticas del sur de Italia, la siembra temprana, al principio de la primavera, dio rendimientos más altos (3,3 t  $\text{ha}^{-1}$ ) que la de Mayo (1,5 t  $\text{ha}^{-1}$ ). El



rendimiento total recorrió desde 1,9 hasta 3,4 t ha<sup>-1</sup>, considerando ambos genotipos, y fue comparable con los informados para la región andina. Estos resultados sugieren que ambos genotipos podrían ser cultivados exitosamente en esta región climática. La composición de las diferentes muestras de quinua mostraron un contenido de proteína que varió entre 16,2% y 16,8%, más alto que en los cereales.

El contenido de saponina de las semillas, determinado por análisis cromatográfico, fue significativamente más alto para el cv. Regalona Baer (329,0 mg 100 g<sup>-1</sup> de peso seco) que en cv. Titicaca (213,8 - 238,9 mg 100 g<sup>-1</sup> de peso seco).

Las semillas cosechadas fueron molidas a harina y utilizadas para hacer diferentes tipos de pastas y pan (Iafelice et al., 2009). Se llevó a cabo una evaluación sensorial, utilizando pasta con 50% y 20% de harina de quinua y un producto de control (100% harina 'tipo 0').

La pasta hecha utilizando harina que contenía un 50% de harina de quinua llevó a un producto inaceptable con un fuerte deterioro del gusto y sabor (debido a la presencia de un fuerte olor a pasto); la con 20% de quinua mostró, a su vez, un perfil sensorial aceptable. En particular, el jurado, mientras destacaba las diferencias con respecto al gusto y sabor a taninos, evaluaba los productos basados en quinua como buenos. Para el pan con 20% de harina de quinua el jurado expresó una opinión muy positiva respecto a la apariencia y color de la corteza y el aspecto de la miga, pero el sabor y olor fueron considerados inusuales, afectando negativamente el valor del producto.

Durante 2009-2010 el cv. Titicaca fue probado, otra vez en una prueba de campo bianual en Vitulazio, para evaluar la respuesta cuantitativa y cualitativa del cultivo (Fig. 7) bajo un estrés combinado de sequía y salinidad (Pulvento et al., 2011, 2012).



**Figura 7** – Quinoa cv. Titicaca irrigada con agua salina en la estación de investigación CNR-ISAFoM ubicada en Vitulazio (CS) en la prueba de campo del 2010. Se muestran diferentes etapas fenológicas durante la temporada de crecimiento: etapa vegetativa (a); formación de panoja (b), y madurez (c).



Se compararon tratamientos irrigados con agua de pozo (Q100, Q50 y Q25) y tratamientos correspondientes irrigados con agua salina (Q100S, Q50S, y Q25S) con una conductividad eléctrica (EC<sub>w</sub>) de 22 dS m<sup>-1</sup>. Q100 fue el control, con aplicación de 100% del agua necesaria para reponer la zona de la raíz (0,00 - 0,36m) a capacidad de campo, y Q50 y Q25, dos tratamientos con aplicación de 50% y 25% respectivamente del volumen de agua utilizado para el tratamiento de control.

El agua salina fue preparada agregando cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>), cloruro de potasio (KCl), cloruro de magnesio (MgCl<sub>2</sub>) y sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>) al agua de pozo, obteniendo así agua con un contenido iónico semejante al obtenido cuando se mezcla agua de pozo con agua de mar en una relación de 1:1. El objetivo de este procedimiento fue simular agua subterránea altamente salinizada debido a la intrusión de agua de mar en el área que rodea el sitio experimental (Figura 8).

El agua de irrigación fue suministrada semanalmente utilizando un sistema de irrigación por goteo superficial con goteros autocompensadores (4 l h<sup>-1</sup>).

Durante la prueba, se evaluaron el rendimiento, crecimiento, y parámetros fisiológicos del cultivo, además también se evaluó la acumulación de iones en diferentes órganos y los aspectos cualitativos de las semillas de quinua.

En ambos años, el rendimiento de la semilla, biomasa superficial e índice de cosecha (HI) no se vieron afectados negativamente por el estrés salino e hídrico; el rendimiento de semillas promedio anual varió entre 2,3 a 2,7 t ha<sup>-1</sup>.

Se detectaron diferencias para el peso de 1000 semillas que fue más alto para los tratamientos salinos que los no salinos.



**Figura 8-** Sistema de irrigación con a) tanques para recolectar agua de irrigación; b) filtros de arena; c) líneas de irrigación por goteo superficial.

**Cuadro 2** - Parámetros de rendimiento de dos genotipos de quinua durante las pruebas de campo realizadas en la estación de investigación de CNR-ISA FoM ubicada en Vitulazio (CE) durante los años 2006 - 2010. "A" y "M" indican la siembra en abril y mayo.

Year	Genotype	Seed Yield	1000 seed weight	Harvest Index
		$t\ ha^{-1}$	g	
2006	Titilcaca <sub>A</sub>	3.3	3.6	0.6
2006	Titilcaca <sub>M</sub>	1.5	2.1	0.4
2006	Pefalona Baer	3.4	2.3	0.3
2007	Titilcaca	1.9	3.0	0.4
2007	Pefalona Baer	3.0	1.8	0.3
2008	Titilcaca	2.7	2.4	0.4
2010	Titilcaca	2.3	2.7	0.4

Las plantas de quinua respondieron de forma distinta a la sequía y a la salinidad. El crecimiento de la planta y la productividad del agua (WP,  $kg\ m^{-3}$ ), definida como la relación entre el rendimiento total de semilla y la cantidad total de agua aplicada (agua lluvia y agua de irrigación) al cultivo, no fueron influidos por la irrigación salina, por ende se confirmó la tolerancia de la quinua a la salinidad. La tolerancia a la sal probablemente le fue conferida por su capacidad para incorporar iones de sal en los tejidos (tallos, raíces, hojas) mientras preservando la calidad de la semilla. El tratamiento con una reducción del agua de irrigación a 25% del tratamiento de irrigación completa (Q25) causó un aumento de WP y una acumulación reducida de materia seca en las hojas. Las plantas de quinua (Q25) inicialmente fueron afectadas negativamente por una sequía severa con una reducción de la Tasa Relativa de Crecimiento (TCR) y la Tasa de Asimilación Neta (TAN), seguido por la adaptación. La quinua podría considerarse un cultivo tolerante a la sequía que adapta su tasa fotosintética (TAN) para compensar un crecimiento reducido (Riccardi et al., 2010, 2013).

Cocozza et al. (2013) destacaron los principales rasgos ecofisiológicos de la quinua durante el ensayo. A medida que se desarrolló el estrés hídrico y salino y disminuyó el potencial hídrico foliar ( $\Psi_{foliar}$ ) el potencial osmótico foliar ( $\Psi_p$ )

disminuyó (menor que 2,05 MPa) para mantener el turgor. La conductancia estomatal ( $gs$ ) disminuyó con la reducción en  $\Psi_{foliar}$  (con una marcada caída en  $\Psi_{foliar}$  entre -0,8 y 1,2 MPa) y  $\Psi_p$  (con una marcada caída en  $\Psi_p$  entre -1,2 y -1,4 MPa). El estrés salino y la sequía, en ambos años, no afectaron notablemente la relación entre los componentes del potencial de agua Contenido Relativo de Agua (CRA) y  $gs$ .  $\Psi_{foliar}$  y  $gs$  tuvieron una relación inversa a la limitación de agua y la salinidad del suelo impuestas de manera experimental, mostrando funciones exponenciales ( $\Psi_{foliar}$  y presión de turgor,  $\Psi_p$ , vs.  $gs$ ) o lineares ( $\Psi_{foliar}$  y  $\Psi_p$  vs. Contenido de Agua del Suelo -- CAS). Al final del experimento, las plantas irrigadas con sal mostraron una fuerte caída en  $\Psi_{foliar}$  (bajo -2 MPa), resultando en el cierre estomatal por los efectos interactivos de la disponibilidad de agua del suelo y el exceso de sal para controlar la pérdida de turgor en las hojas. Los efectos de la salinidad y la sequía resultaron en dependencias estrictas entre CRA y los componentes del potencial de agua, mostrando que regular el déficit de agua celular y su volumen es un mecanismo poderoso para conservar la hidratación celular bajo estrés, resultando en un ajuste osmótico ante la pérdida de turgor. La extensión del ajuste osmótico asociado a la sequía no se vio reflejado en  $\Psi_p$  en pleno turgor. A medida que se secaba el suelo, la

asociación entre  $\Psi_{\text{foliar}}$  y CAS reflejó la habilidad de la quinua para explorar el volumen de tierra para seguir extrayendo el agua disponible del suelo. Sin embargo el contenido de ácido abscísico (ABA) de la hoja no varió bajo las condiciones concomitantes de estrés hídrico y salino durante el 2009, mientras que varió entre Q100 y Q100S en 2010. La quinua mostró una buena resistencia al estrés hídrico y salino por medio de respuestas estomáticas y ajustes osmóticos que jugaron un papel en mantener un turgor de hoja favorable al crecimiento de la planta y mantener el rendimiento del cultivo.

Ni la sequía ni el estrés salino afectaron los principales aspectos cualitativos de la semilla, con una variación del contenido proteico de entre 14,7% y 16,6% en base a peso seco.

Un análisis de compuestos fenólicos HPLC-DAD-ESI-MS (Gómez-Caravaca et al., 2012) indicó que la irrigación con un 25% de la restitución completa de agua, con y sin la adición de sal, causó un aumento en los compuestos fenólicos libres del 23,16% y 26,27% respectivamente. Por el contrario, los compuestos fenólicos ligados no se vieron afectados por el estrés ambiental.

Las saponinas fueron evaluadas en términos de las sapogeninas (Gomez-Caravaca et al., 2012; Pulvento et al, 2012; Lavini et al., 2011). Se aplicó un análisis de cromatografía de gases (CG) para evaluar las agliconas de saponinas (sapogeninas) derivadas de la hidrólisis ácida de las muestras de semillas. Se identificaron tres principales agliconas de saponinas: ácido oleanólico (36-50% total), hederagenina (27-28%) y ácido fitolacagénico (21-36%).

El análisis CG mostró que las muestras cultivadas bajo tratamientos salinos tuvieron un nivel más alto de sapogeninas en comparación con los tratamientos no-salinos y estas disminuyeron en los tratamientos menos irrigados (Q25 y Q50 en comparación con Q100). En situaciones de déficit severo de agua, el contenido de saponinas disminuyó 35%, 45%, y 50% cuando se agregó un estrés salino.

Los datos experimentales recolectados durante la prueba de campo bianual 2009-2010 también fueron utilizados para calibrar y validar el SALTMED (Ragab, 2010; Ragab et al., 2005a,b) un modelo integrado, de base física, que simula a diario los principales procesos del continuo suelo-agua-planta (Pulvento et al., 2013).

Los resultados mostraron que el modelo SALTMED podría ser una importante herramienta para evaluar el impacto de la gestión de los recursos hídricos para propósitos de irrigación y para predecir la adaptación de la quinua a diferentes ambientes de diferentes tipos de gestiones agrícolas.

Desde el 2011 hasta el 2013 se llevaron a cabo otras pruebas de campo en Vitulazio para comparar la materia seca, rendimiento de semillas, y la calidad de los distintos genotipos de quinua (Tabla 1) cultivada bajo condiciones de secano. Los resultados preliminares, aun por publicar, mostraron que los cultivares daneses Titicaca y Puno fueron los más altos productores de grano en condiciones mediterráneas, mientras que otros cultivares de Sudamérica no alcanzaron la madurez fisiológica o produjeron cantidades muy bajas de semillas.

Las actividades de investigación sobre la quinua siguen en curso en ISAFoM dentro de los proyectos CISIA y "Quinoa Felix", con el objetivo de: *a)* poner a prueba la respuesta de la quinua ante diferentes prácticas agronómicas; *b)* entregar productos alimenticios típicos hechos con harina de quinua; *c)* difundir el conocimiento acerca de las características de la quinua a los agricultores y partes interesadas locales.

Las nuevas pruebas de campo también van a evaluar la mecanización (Fig. 9) de las principales prácticas culturales, (sembrado, desmalezado, y cosecha) que permitirían la difusión del cultivo de la quinua en Italia.





**Figura 9** - Mecanización del sembrado de quinua

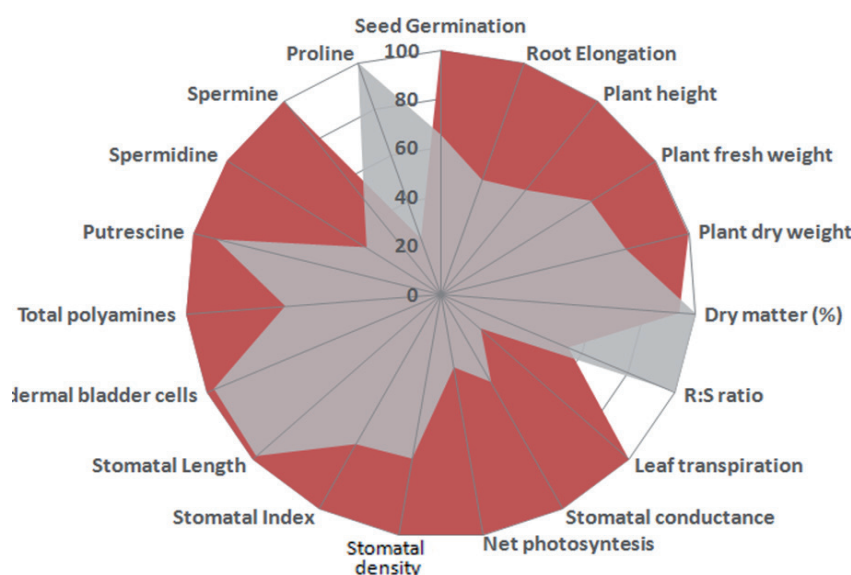
2.2 Los trabajos de investigación bajo condiciones ambientales controladas en la Universidad de Bologna (Depto. de Ciencias Biológicas, Geológicas, y Ambientales y Depto. de Ciencias Agrícolas) se llevan a cabo en actividades de investigación enfocadas en el estudio de algunos de los elementos morfológicos y fisiológicos del halofitismo de la quinua y la variabilidad en la tolerancia a la sal entre diferentes cultivares. Orsini et al. (2011) analizaron varias respuestas morfológicas y metabólicas en paralelo después de la exposición a la salinidad de una accesión de quinua (BO78) de Collipulli en la región de la Araucanía en el sur de Chile. La germinación de semillas *in vitro* inicialmente se retrasó con un tratamiento de 150 mM de NaCl, pero eventualmente alcanzó el mismo nivel que el control (0 mM NaCl), mientras que se aumentó el crecimiento de la raíz de la plántula; ambos parámetros fueron moderadamente inhibidos (~35–50%) por 300 mM de NaCl. En plantas cultivadas en maceteros, el tamaño de la planta se vio reducido al aumentar la salinidad (0-750 mM de NaCl). La transpiración y conductancia estomatal disminuyeron en los niveles de salinidad más altos probados. Los cambios en la densidad y

el tamaño estomatal como respuesta a la sal fueron consistentes en las superficies adaxiales y abaxiales de las hojas, aunque las reducciones en la densidad e índice ya eran perceptibles a bajos niveles de salinidad, mientras que el tamaño estomatal sólo se vio disminuido en las más altas concentraciones de sal. La densidad de las células vesiculares epidérmicas (EBCs) en la superficie de la hoja no se vio afectada hasta 600 mM de NaCl. Los contenidos tisulares de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  aumentaron dramáticamente con el tratamiento salino, pero resultaron en un aumento de sólo el 50% de  $\text{Na}^+$  desde 150 a 750 mM de NaCl. El  $\text{K}^+$  interno no se vio afectado hasta 450 mM de NaCl, pero aumentó en los niveles salinos más altos probados. La excreción por secuestro en las ECBs fue limitada (generalmente 20%) para todos los iones, indicando que el papel jugado por estas glándulas de sal en la homeostasis general de iones de la planta puede ser limitado. Ocurrió una modesta acumulación dosis-dependiente de prolina y una reducción concomitante en las poliaminas totales y un flujo de salida de putrescina en las plantas tratadas con NaCl. Los resultados confirman la importancia de los iones inorgánicos en el ajuste osmótico, la habilidad de la planta de



mantener niveles de  $K^+$ , y la participación del flujo de salida de putrescina en mantener el equilibrio iónico bajo condiciones de alta salinidad. Por el contrario, la excreción de iones y la prolina parecen jugar un papel menor en la adaptación de la quinua a la salinidad. La respuesta de la planta involucró varias estrategias adaptativas a niveles morfológicos (reducción del tamaño y densidad estomatal), fisiológicos (regulación negativa de la pérdida de agua y conductancia estomatal) y bioquímicos (homeostasis iónica y agotamiento

de poliaminas). Por lo tanto, estos pueden considerarse indicadores útiles de la adaptación a la salinidad en esta accesión de quinua. Algunos de ellos confirman conocimientos previos acerca de la quinua o de las dicotiledóneas halófitas en general, mientras que otros, tales como la densidad EBC y la capacidad de secuestro de iones y la extrusión de poliaminas, requieren de más investigación para evaluar su papel en ésta y otras quenopodiáceas.



**Figura -10.** Respuesta de la accesión de quinua BO78 a 0 (área negra) y 300 (área gris) mM de NaCl. Valores expresados como porcentaje de su valor máximo. Se midió la germinación de la semilla y el alargamiento de la raíz en experimentos *in-vitro* a 15 días desde la siembra y 7 días desde la germinación, respectivamente todas las otras medidas son de plantas *in vivo*.

Para investigar qué mecanismos de tolerancia podrían justificar diferencias varietales, Ruiz-Karrasco et al. (2011) compararon cuatro genotipos (BO78, PRP, UDEC9, PRJ) de regiones costeras centrales y del sur de Chile en sus respuestas de crecimiento, fisiológicas, y moleculares ante NaCl en la etapa de plántula. Las semillas fueron plantadas en platos de agar suplementado con 0, 150, o 300 mM de NaCl. La germinación se vio significativamente reducida por el NaCl sólo en la accesión BO78. El largo de los brotes se vio reducido con 150 mM de NaCl en tres de los cuatro genotipos, y por más de 60% con 300 mM (excepto BO78, que permaneció más parecido a los controles). El largo de la raíz casi no se vio afectado ni aún aumentado con 150

mM en ninguno de los cuatro genotipos, pero sí se vio inhibido, especialmente en BO78, con 300 mM de NaCl. Por lo tanto, la relación raíz/brote se vio afectada diferencialmente por la sal, con los valores más altos en PRJ y más bajos en BO78. La biomasa también se vio menos afectada en PRJ que en las otras accesiones, el genotipo con el incremento más alto en la concentración de prolina después del tratamiento con sal. La putrescina libre disminuyó dramáticamente en todos los genotipos bajo 300 mM de NaCl; sin embargo la relación de (espermidina + espermina)/putrescina fue más alta en PRJ que en BO78. Los análisis cuantitativos RT-PCR de dos genes transportadores de sodio, CqSOS1 y CqNHX, revelaron que su expresión fue

inducida diferencialmente a nivel del brote y de la raíz, y entre genotipos, por 300 mM de NaCl. (Vea el Capítulo 2.7 para más información).

### 3. Perspectivas.

Los futuros cambios en el clima afectarán negativamente los agro-ecosistemas italianos, reduciendo la disponibilidad de agua, la calidad del agua, y la productividad de los cultivos. La quinua podría jugar un papel en la diversificación futura de los sistemas agrícolas en Italia, especialmente en las áreas más afectadas por estreses abióticos como la sequía y la salinidad. Los estudios realizados han demostrado que el cultivo puede ser cultivado exitosamente bajo las condiciones ambientales de Italia del sur, entregando un rendimiento de semilla considerable incluso bajo condiciones ambientales desfavorables. Algunas variedades de quinua pueden resistir mucho mejor la sequía y la salinidad que los cultivos comerciales tradicionales.

Ya que la quinua es relativamente resistente a las plagas y enfermedades, también es idónea para la producción orgánica.

El alto valor nutricional de sus semillas hace de la quinua un ingrediente interesante para los productos alimenticios típicos de Italia y debiera representar un valor agregado en el mercado de los alimentos de alta calidad. La quinua también puede presentar una alternativa válida para la preparación de comidas y bebidas libres de gluten para celíacos. Según el informe anual sobre la enfermedad celíaca para el Parlamento del Ministerio de Salud de Italia (2011), el número de celíacos en Italia es de alrededor de 600.000. La tendencia es de un aumento anual de 19%.

Los programas de investigación y estudios adicionales acerca de la quinua deberían apoyar el desarrollo de este cultivo valioso pero sub-utilizado; se deben tomar en consideración los esfuerzos conjuntos, tales como mejorar las técnicas agrícolas y mecanizar el cultivo de la quinua. Esto puede realizarse por medio de la diseminación y demostraciones de los mejores métodos agrícolas. Así, los agricultores italianos pueden aprender más acerca de cómo mejorar la producción de estos cultivos.

Debe fomentarse la investigación básica realizada en las universidades italianas en colaboración con

otros institutos de investigación, para contribuir a criar variedades mejoradas mejor adaptadas a las condiciones agro-ambientales nacionales.

### Referencias.

- Adolf, V.I., S. Shabala, M.N. Andersen, F. Razzaghi, S.-E. Jacobsen. (2012). Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Plant Soil* 357, 117-129.
- Altman A. (1999). Plant biotechnology in the 21<sup>st</sup> century: the challenges ahead. *Electronic Journal of Biotechnology* 2 (2).
- Ashraf M. (1994). Breeding for salinity tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 13, 17-42.
- Cocoza C., C. Pulvento, A. Lavini, M. Riccardi, R. d'Andria & R. Tognetti. (2012). Effects of increasing salinity stress and decreasing water availability on ecophysiological traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of agronomy and crop science* doi:10.1111/jac.12012.
- Dazzi C., G. Lo Papa. (2013). Soil Threats. in E. A. C. Costantini and C. Dazzi (eds.), *The Soils of Italy*, World Soils Book Series, Springer.
- del Castillo, C., T. Winkel, G. Mahy & J.P. Bizoux. (2007). Genetic structure of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from the Bolivian altiplano as revealed by RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54(4), 897-905.
- EUROSTAT (2009) – Farm Structure Survey in Italy – 2007.
- Gandarillas, H. (1979). Genética y origen. In: Tapia ME et al (eds) *Quinoa y kan~ ihua*, cultivos andinos. IICA, Bogotá, Colombia, pp 45–64.
- Gómez-Caravaca, A., G. lafelice, A. Lavini, C. Pulvento, M. Caboni & E. Marconi. (2012). Phenolic Compounds and Saponins in Quinoa Samples (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown under Different Saline and Non saline Irrigation Regimens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60 (18), 4620-4627.
- lafelice, G., M. D'Amario, M. Riccardi, C. Pulvento, R. d'Andria, & E. Marconi, (2009). Caratterizzazione chimico-nutrizionale di quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) e possibili applicazioni tecnologiche. *Atti del 7° AISTEC Congress proceedings. Cereali tra dizione e innovazione: il contributo della Scienza*,

Campobasso 3-5 ottobre 2007, pp.99-103 ISBN: 978-88-901055-4-8.

INEA. (2011). Annuario dell'agricoltura italiana 2011 vol.LXV, Roma.

IPCC, (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policy Makers. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), www.ipcc.ch, 22 pp.

Jacobsen, S.-E., I. Jørgensen & O. Stølen. (1994). Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. J. Agric. Sci 122, 47-52.

Jacobsen, S.-E., F. Liu & C.R. Jensen. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Scientia Horticulturae 122, 281–287.

Jacobsen, S.-E., J. L. Christiansen and J. Rasmussen. (2010). Weed harrowing and inter-row hoeing in organic grown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Outlook on Agriculture 39, 223–227.

Jacobsen, S.-E., C.R. Jensen & F. Liu. (2012). Improving crop production in the arid Mediterranean climate. Field Crops Research 128, 34–47.

Kirnak, H. (2006). Effects of irrigation water salinity on yield and evapotranspiration of drip irrigated cucumber in semiarid environment. En: Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants. M. Öztürk, Y. Waisel, M. A. Khan y G. Görk eds. Birkhäuser Verlag/Switzerland, 155-162.

Lavini, A., C. Pulvento, M. Riccardi, R. d'Andria, G. Iafelice, E. Marconi., A.M. Gómez-Caravaca & M.F. Caboni. (2011). Caratteristiche qualitative e produttive di una coltura di nuova introduzione nell'ambiente mediterraneo (*Chenopodium quinoa* Willd.) sottoposta a stress idrico e salino. 8° AISTEC Congress, Catania, 11-13 Maggio 2011.

Maas, E.V. & G.J. Hoffmann. (1977). Crop salt tolerance - current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE 22, 115 - 134.

Moriondo M. and M. Bindi (2007) "Impact of climate change on the phenology of typical Mediterranean crops" Italian Journal of Agrometeorology, 5 - 12 (3).

Navarro, A., S. Bañón, B. Olmos, M.J. Sánchez-Blanco. (2007). Effects of sodium chloride on water potential components, hydraulic conductivity, gas

exchange and leaf ultrastructure of *Arbutus unedo* plants. Plant Science 172, 473-480.

Orsini, F., M. Accorsi, G. Gianquinto, G. Dinelli, F. Antognoni, K. Ruiz Carrasco, E. Martinez, M. Alnayef, I. Marotti, S. Bosi & S. Biondi. (2011). Beyond the ionic and osmotic response to salinity in *Chenopodium quinoa*: functional elements of successful halophytism. Functional Plant Biology, 38, 818 – 831.

Pagliuca, S., M. Riccardi, C. Pulvento, D. Calandrelli., A. Lavini, M. Buonanno, A. Tedeschi & R. d'Andria. (2009). Groundwater resources quality for irrigation in the lower Volturno river plain (province of Naples and Caserta, southern Italy. Report CNR-ISA FoM.

Pearsall, D.M. (1992). The origins of plant cultivation in South America. En: Cowan CW, Watson PJ (eds) The origins of agriculture. Smithsonian Institution Press, Washington, Estados Unidos, pp 173–205.

Pulvento, C., C., M. Riccardi, A. Lavini, R. d'Andria, G. Iafelice & E. Marconi. (2010). Field trial evaluation of two *Chenopodium quinoa*'s genotypes grown in rainfed conditions in a Mediterranean environment of south Italy. Journal of agronomy and crop science 197, 407-411.

Pulvento, C., M. Riccardi, A. Lavini, & R. d'Andria. (2011). Effects of deficit irrigation using saline water on "*Chenopodium quinoa* Willd." Grown in a mediterranean environment. Acta Horticulturae. (ISHS) 922:49-53.

Pulvento, C., M. Riccardi, A. Lavini, G. Iafelice, E. Marconi, & R. d'Andria. (2012). Yield and quality characteristics of *Chenopodium quinoa* Willd. grown in open field under different saline and not saline irrigation. Journal of Agronomy and Crop Science. 198 (4), 254-263.

Pulvento, C., M. Riccardi, A. Lavini, R. d'Andria, & R. Ragab. (2013). SALT MED Model to Simulate Yield and Dry Matter for Quinoa Crop and Soil Moisture Content Under Different Irrigation Strategies in South Italy. Irrigation and Drainage 62, 229–238.

Ragab, R. & C. Prudhomme. (2002). Climate change and water resources management in arid and semi arid regions: prospective and challenges for the 21st century. J. of Biosystems Engineering 81, 3-34.

Ragab, R, N. Malash, G. Abdel Gawad, A. Arslan & A. Ghaibeh. (2005a). A holistic generic integrated

approach for irrigation, crop and field management: 1. The SALTMED model and its application using field data from Egypt and Siria. *International Journal of Agricultural Water Management* 78(1–2), 67–88.

Ragab, R, N. Malash, G. Abdel Gawad, A. Arslan & A. Ghaibeh. (2005b). A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: 2. The SALTMED model validation using field data of five growing seasons from Egypt and Siria. *International Journal of Agricultural Water Management* 78 (1–2), 89–107.

Ragab, R. (2010). SATMED model as an integrated management tool for water, crop, soil and fertilizers. Gheyi HR, da Dias Nildo S, de Lacerda Claudivan F (eds). In *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos basicos e aplicado*, Instituto Nacional de Ciencia e Tecnologia em Salinidade: Fortaleza, Brazil; 320–336.

Riccardi, M, C., A. Pulvento, D. Lavini, G.R. Calandrelli, & A. Balsamo (2010). Risposta Vegeto-produttiva di *Chenopodium quinoa* Willd. Sottoposta a Regime Irriguo Deficitario. Atti del XXXIX SIA Congress proceedings 20-22 Settembre 2010, pp 165-166 ISBN 9788 8904 38714.

Riccardi, M., C. Pulvento, A. Lavini, R. d'Andria & S-E. Jacobsen (2013). Growth and ionic content of quinoa under saline irrigation. (under review).

Ruiz-Carrasco, K., F. Antognoni, A.K. Coulibaly, S. Lizardi, A. Covarrubias, E.A. Martínez, M.A. Molina-Montenegro, S. Biondi & A. Zurita-Silva. (2011). Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiol. Biochem.* 49, 1333-1341.

Razzaghi, F., F. Plauborg, S.-E. Jacobsen, C. R. Jensen, M.N. Andersen. (2012). Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural Water Management* 109 20–29

Schlick, G., Bubenheim D.L. (1996). «Quinoa: candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems.» *Progress in New Crops*. ASHS press. Arlington. VA 632-640

Shabala, S., Y. Hariadi, S-E. Jacobsen. (2013).

Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na<sup>+</sup> loading and stomatal density. *Journal of Plant Physiology* 170 pp. 906-914. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2013.01.014>

Velardi, M. (2009). Quinta comunicación nacional bajo la convención marco de la ONU sobre el cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, Territorio y Mar de Italia;;

Wolf T. and B. Menne (eds.) (2007) “Environment and health risks from climate change and variability in Italy”,WHO-APAT



## CAPÍTULO: 6.12.

## TÍTULO: EXPERIMENTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE QUINUA EN TURQUÍA

\* Autor para correspondencia: Attila YAZAR <[yazarat@cu.edu.tr](mailto:yazarat@cu.edu.tr)>

**Autores:** ATTILA YAZAR<sup>a</sup>, CIGDEM INCEKAYA<sup>a</sup>, METIN SEMIH SEZEN<sup>b</sup>, SERVET TEKIN<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Estructuras Agrícolas e Irrigación, Universidad Çukurova, Adana, Turquía

<sup>b</sup> División de Manejo de Agua, Unidad de Recursos de Suelos y Agua en Tarsus, Instituto de Investigación Hortícola, Mersin, Turquía.

<sup>c</sup> Departamento de Ingeniería en Biosistemas, Universidad Sütçüimam, Kahramanmaraş, Turquía.

## Resumen

El propósito de este capítulo es proporcionar información sobre cómo mejorar la producción de alimentos en las regiones áridas y semi-áridas, especialmente en la región mediterránea semiárida de Turquía, influenciada por múltiples factores de estrés abiótico, mediante el fortalecimiento de la producción agrícola diversificada y la introducción de nuevos cultivos a prueba de climas y cultivares con una tolerancia mejorada al estrés, tales como la quinua. Este estrés se hace aún más pronunciado por los cambios climáticos, gracias a los cuales se prevé que existirán condiciones más áridas, un aumento en las temperaturas, y una mayor variabilidad, lo que a su vez causará desertificación. Ya que la quinua es resistente a la sequía, se cultiva tradicionalmente en condiciones de secano, incluso en lugares semiáridos. Sin embargo, los investigadores comenzaron a estudiar el impacto del agua adicional en la producción de quinua, y encontraron que el riego deficitario era altamente beneficioso en varios lugares de experimentación. Por otra parte, hoy en día rara vez se cultiva la quinua bajo irrigación completa, ya que las investigaciones de la quinua bajo irrigación completa obtuvieron resultados sólo ligeramente más altos que los de la quinua cultivada bajo el riego deficitario; además, hay poca disponibilidad de agua para lograr una irrigación

completa. Existen resultados experimentales de estudios llevados a cabo en la región mediterránea de Turquía que indican una respuesta positiva de la quinua a la irrigación completa con agua salina así como también con agua fresca en comparación con el riego deficitario. La quinua es una halofita facultativa y puede crecer en condiciones que van desde no-salinas hasta extremadamente salinas, dependiendo de la variedad. La producción de semillas se ve aumentada por una salinidad moderada (EC en los rangos de 5-15dS/m) de los suelos, y en algunos cultivares puede que no se reduzca incluso con un EC de 40 a 50 dS/m. Adicionalmente, se proveerá información acerca de los problemas enfrentados por la introducción de quinua en esta parte del mundo, los recursos genéticos utilizados, el estado actual y las perspectivas de disseminación cultural en Turquía, usos y mercados, y preguntas y problemas relacionados con su disseminación. Este capítulo presentará la situación de Turquía en lo referente a la quinua.

## Introducción.

La producción de alimentos y el agua están inextricablemente unidas. El agua siempre ha sido un factor limitante en la producción de cultivos en las partes del mundo donde la cantidad de agua caída es insuficiente para satisfacer la demanda. A nivel mundial se compete para obtener recursos finitos de agua y hay un aumento en la demanda de bienes

agrícolas. Por lo mismo, nunca ha sido más urgente el llamado a mejorar la eficiencia y la productividad del uso de agua para la producción de cultivos, para asegurar la seguridad alimentaria del futuro y abordar las incertidumbres asociadas a los cambios climáticos (Steduto *et al.* 2012).

No hay otra alternativa que aumentar la producción de cultivos (es decir, el rendimiento de cultivo por unidad de superficie) y las productividades totales e individuales asociadas (por ejemplo, producción biológica por unidad de insumos de producción total, y producción por unidad de factores individuales tales como energía, nutrientes, agua, mano de obra, tierras y capital) para poder satisfacer las demandas globales de alimentos, forraje y biocombustible y para aliviar el hambre y la pobreza. Alimentar al mundo en el 2050 y más allá requiere de más optimización e intensificación de la producción de cultivos. Sin embargo, hasta ahora la intensificación de la agricultura en general ha tenido un efecto negativo en la calidad de muchos de los recursos básicos como los suelos, el agua, la tierra, la biodiversidad y los servicios ambientales, lo cual ha causado que disminuyan las tasas de crecimiento del rendimiento y de la productividad de los factores (Derpsch y Friedrich, 2010). Otro desafío para la agricultura es la huella ambiental y el cambio climático. La agricultura es responsable de alrededor del 30% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, mientras que también se ve directamente afectada por las consecuencias del cambio climático (IPCC, 2007).

La sequía y la salinidad son los factores ambientales adversos más comunes que afectan el crecimiento de las plantas y se consideran los principales factores que determinan la distribución geográfica mundial de la vegetación y la restricción del rendimiento de los cultivos en la agricultura (Gregory 2006; Lin *et al.* 2006; Schulze *et al.* 2005). La producción de cultivos alimentarios está limitada en la región del sur del Mediterráneo, debido a los recursos limitados de agua, la sequía y la salinidad. Los cultivos que típicamente se cultivan bajo las condiciones áridas y semiáridas de los países mediterráneos, afectados por múltiples factores de estrés abiótico además de estar influenciados por el cambio climático, son los cereales en monocultivo de bajo rendimiento o los combinados con barbecho. Se debe mejorar la producción de alimentos en las regiones

áridas y semi-áridas, especialmente en la región mediterránea semiárida de Turquía, influenciadas por múltiples factores de estrés abiótico, mediante el fortalecimiento de la producción agrícola diversificada y la introducción de nuevos cultivos a prueba de climas y cultivares con tolerancia mejorada al estrés, tales como la quinua. La quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) es una halófito con el potencial para convertirse en un cultivo importante en las regiones áridas y hábitats salinos, satisfaciendo un mercado mundial cada vez mayor (Jacobsen and Shabala, 2013). Este estrés se hace aún más pronunciado por los cambios climáticos, gracias a los cuales se prevé que existirán condiciones más áridas, aumento en las temperaturas, y mayor variabilidad, lo que a su vez causará desertificación.

La salinidad y la sequía son los principales factores que causan problemas importantes para la agricultura en las regiones áridas y semiáridas, y cada año se pierden áreas importantes debido a la salinización (Munns y Tester, 2008). Se requieren de nuevos enfoques para hacer frente a esta situación, y una opción es el uso de especies de cultivos con tolerancia a la salinidad del suelo (Koyro *et al.* 2008). Uno de esos, y quizás el más prometedor, es la quinua (*Chenopodium quinoa* Wild). La gran variabilidad genética de la quinua en su tolerancia a la salinidad es lo que la hace una excelente fuente para la selección y el fitomejoramiento enfocado a aumentar dicha tolerancia (Gomez-Pando *et al.* 2010; Ruiz-Carrasco *et al.* 2011; Adolf *et al.* 2012a). En este aspecto la quinua es un cultivo prometedor, pues en ella se combinan una alta tolerancia natural a la salinidad (2011; Razzaghi *et al.* 2011a; Pulvento *et al.* 2012; Yazar *et al.* 2013a) y a varios otros factores de estrés ambiental (Jacobsen *et al.*, 2003; Razzaghi *et al.* 2011b) con un alto valor nutritivo de sus semillas (Repo-Carrasco *et al.* 2003; Stikic *et al.* 2012).

La quinua es una especie que pertenece a la familia *Amaranthaceae*, una halófito con más de 3000 accesiones, con una importante diversidad en su tolerancia a la salinidad y otras características. Se ha demostrado que las variedades de quinua provenientes del altiplano boliviano son las menos afectadas por la salinidad en comparación con las variedades de las áreas no salinas (Adolf *et al.* 2012b).

*Chenopodium quinoa* Wild es un pseudo-cereal andino cultivado hace cinco mil años en su área nativa. Durante la colonización europea de América

del Sur, los conquistadores españoles desdénaron la quinua e incluso fue activamente suprimida debido a su rol en las ceremonias indígenas no-cristianas. (2001). Recientemente se ha introducido en EE.UU. y Canadá, y también en Europa, donde es un candidato para la diversificación agrícola. La especie es una *Amaranthacea* anual que muestra buena adaptación a diferentes condiciones ambientales. Es un cultivo resistente a la sequía y tolerante a las heladas, suelos salinos, enfermedades y pestes (Mujica *et al.* 2001; Jacobsen *et al.* 2003; Jacobsen *et al.* 2005).

Este cultivo andino tradicional ha sido cultivado en los Andes de Perú y Bolivia por más de 7000 años (Pearsall 1992). La quinua se adapta muy bien y puede crecer en condiciones desfavorables de suelo y clima (García 2003); este cultivo también está rápidamente ganando el interés en todo el mundo (Jacobsen 2003) debido a su carácter resistente y su alto valor nutritivo. Además de su alto contenido de proteínas y la presencia equilibrada de aminoácidos esenciales como la lisina, los granos también son ricos en vitaminas y minerales (Comai et al. 2007). Su carácter resistente se debe a su alto nivel de tolerancia a las heladas (Jacobsen et al., 2005), sequías (Geerts *et al.* 2008a) y salinidad del suelo (Sanchez *et al.* 2003; Jacobsen *et al.* 2003; Jacobsen y Shabala 2013). En cuanto a sus características básicas, la quinua es una especie de cultivo anual que pertenece al grupo de plantas C3 (Jacobsen *et al.* 2003). Es una planta que crece hasta los 0,5-2m de alto que culmina con una panoja de pequeñas flores que producen una semilla por flor. Su masa de 1000 granos es generalmente baja, debido al pequeño tamaño de sus semillas, de 3-6g (Geerts *et al.* 2008b). A pesar del alto valor nutritivo de sus semillas, éstas también contienen el componente anti-nutritivo saponina, dependiendo principalmente de la variedad (Ward 2000). La saponina debe ser removida antes de consumir la quinua. Las distintas características agronómicas de un gran número de variedades de quinua han sido listados por Bhargava *et al.* (2006).

## La situación agrícola en Turquía.

Turquía se encuentra en una posición geográfica única pues está en la confluencia de tres continentes, Asia, Europa y África (Figura 1). Esta ubicación de “cruce de caminos” en combinación con su diversa geomorfología y sus condiciones climáticas, significa que Turquía es un país clave para la conservación global de la biodiversidad con especies provenientes

del norte (Europa), el este (Asia occidental) y el sur (África). Turquía es uno de los países más importantes del mundo en lo que se refiere a la diversidad genética y recursos agrícolas. Muchas plantas anuales y perennes, herbáceas y leñosas utilizadas en los sistemas agrícolas de clima templado y mediterráneo son originarios de Turquía y el país es reconocido como un “centro de domesticación”, donde la agricultura antigua comenzó hace varios miles de años (Tan, 2003). Algunos importantes cultivos oriundos de Turquía incluyen trigo, cebada, avena, arvejas y lentejas, además de muchas especies de frutas cultivadas como las cerezas, damascos, almendras e higos. Muchas flores ornamentales también provienen de Turquía, la más notable siendo el tulipán.

Hay dos aspectos importantes de Turquía como centro de diversidad genética de los cultivos. En primer lugar es la existencia de muchos parientes silvestres de cultivos. En segundo lugar, que aún existen altos niveles de variabilidad genética entre las variedades de cultivos locales. Esto es especialmente cierto en las zonas de montaña más marginales donde los métodos agrícolas tradicionales se han mantenido a un grado mucho mayor que en las regiones costeras de cultivo intensivo o en la meseta de Anatolia.



**Figura 1.** Ubicación de Turquía

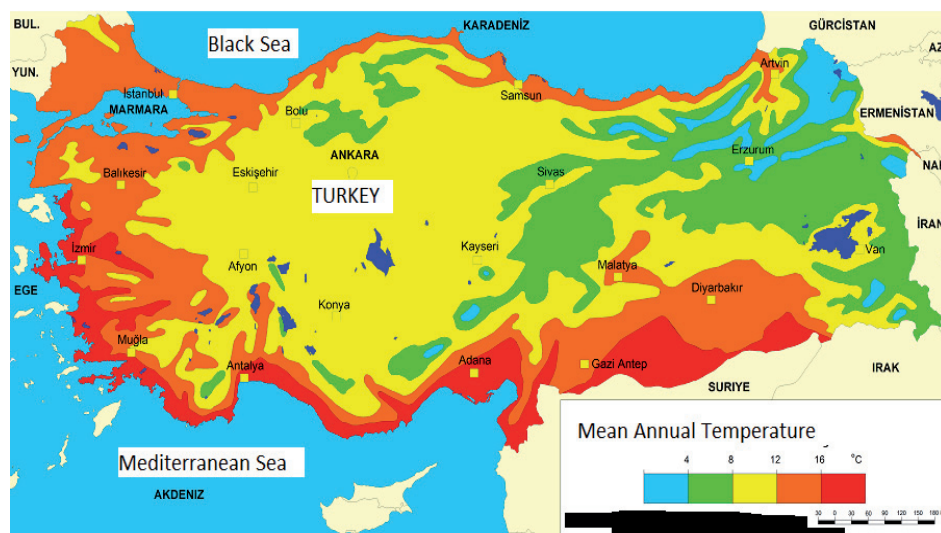
Turquía tiene una superficie total de 778.997 km2 con una población de 76 millones y es un país de gran altitud con una altura media de 1.132 metros sobre el nivel del mar. La parte europea (Tracia) es una tierra de colinas fértiles y la parte asiática (Anatolia) se compone de una meseta interior con cadenas montañosas a lo largo de las costas del norte y del sur. Esta meseta se eleva desde el nivel del mar en el oeste de Anatolia a una altitud de 800 - 1000 metros en Anatolia central y luego a más



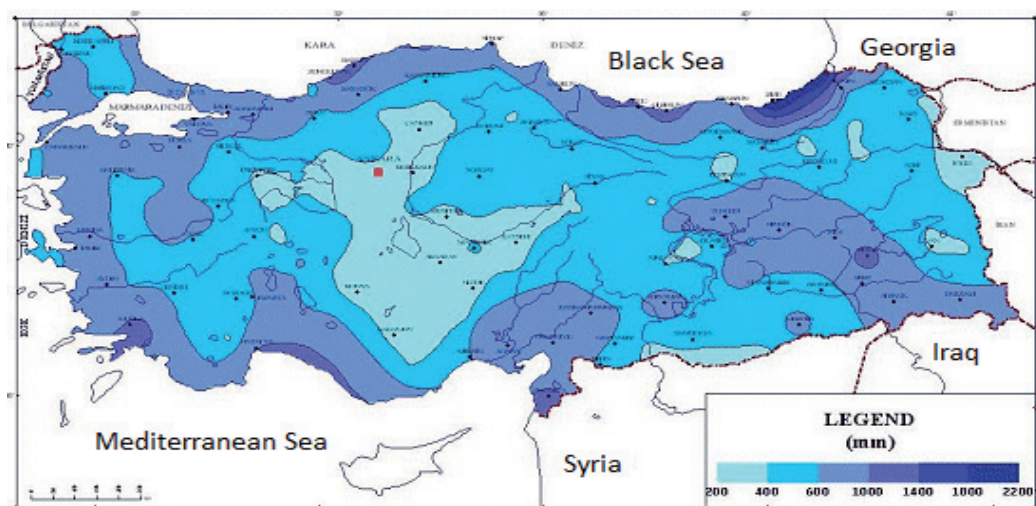
de 1.700 metros en el este de Anatolia. Los suelos son generalmente pobres y su productividad está limitada por su profundidad, además de la altitud, la escasez de lluvias y la fuerte pendiente. Sólo el 15,2% de los suelos tienen una profundidad mayor que 90 cm y la mayoría (72,1%) son poco profundos (20-50 cm) o muy superficiales (0-20 cm).

Turquía tiene un clima semi-árido, pero su diversa topografía, y en particular la existencia de montañas paralelas a la costa, da lugar a grandes diferencias en las condiciones climáticas de una región a otra. Las zonas costeras del sur de las regiones del Egeo y el Mediterráneo disfrutan de un clima mediterráneo

con veranos calurosos y secos e inviernos templados y lluviosos. En contraste, el clima del Mar Negro de las zonas costeras del norte es mucho más húmedo y frío durante todo el año, mientras que la alta meseta de Anatolia central tiene un clima de estepa con relativamente poca precipitación anual y grandes diferencias de temperatura entre los inviernos fríos y veranos calurosos (Figura 2). La precipitación media es de 646 mm por año, pero hay enormes variaciones entre las regiones, desde casi 2.500 mm en las altas montañas de la región oriental del Mar Negro a 250-300 mm en algunas partes de Anatolia central (Figura 3).



**Figura 2.** Distribución de las temperaturas promedio anuales en Turquía ([www.meteor.gov.tr](http://www.meteor.gov.tr))



**Figura 3.** Distribución de las precipitaciones promedio anuales en Turquía ([www.meteor.gov.tr](http://www.meteor.gov.tr))



La agricultura sigue siendo un sector importante de la economía turca gracias a un clima favorable y fuertes tradiciones agrícolas. La contribución de la agricultura al PIB total ha ido disminuyendo, desde el 26,1% en 1980 al 8,2% en 2012; aun así, casi un tercio de la población turca sigue participando en la agricultura y el 11% del total de las exportaciones son productos agrícolas (Cakmak 2004).

Aproximadamente la mitad (53%) de la superficie total de Turquía de 77,9 millones de hectáreas se utiliza actualmente para la producción agrícola y ganadera, incluyendo un estimado de 26,6 millones de hectáreas de tierra usada para los cultivos arables (cereales, leguminosas y cultivos industriales), cultivos forrajeros para la alimentación animal, frutas y verduras, viñedos y tierras de barbecho. La mayoría de esta tierra cultivada es de propiedad privada; Aproximadamente 5,2 millones de hectáreas de tierra están actualmente bajo riego, ya que sin riego la mayor parte de la tierra sólo puede apoyar los cultivos de secano de bajo rendimiento. Hay 14,2 millones de hectáreas de praderas y pastizales (pastizales secos). Éstas son en su mayoría de propiedad estatal y se utilizan para el pastoreo común, a excepción de algunos prados de propiedad privada que se utilizan para la producción de heno. La superficie restante incluye aproximadamente 20,8 millones de hectáreas de bosque (99% de propiedad estatal) y aproximadamente 16 millones de hectáreas de tierras no cultivadas, incluyendo las áreas construidas.

La mayoría de las granjas son de pequeña escala y fragmentadas, excepto en las regiones costeras más prósperas y fértiles. De acuerdo a los datos del Censo Agrícola 2012, el tamaño promedio de una granja es de 6,1 ha; más del 83% de los agricultores tienen menos de 10 hectáreas de tierra (constituyendo aproximadamente el 42% de la superficie cultivada total); menos del 1% de las granjas tienen más de 50 hectáreas (lo que constituye el 17% de la superficie cultivada total). Esto incluye a los horticultores especializados de gran escala, ubicados en las regiones del Aegeo y el Mediterráneo (TUIK, 2012).

La labranza de subsistencia y de semi-subsistencia es una característica importante de la agricultura

turca y es crucial para la seguridad de los ingresos y el sustento de la mayoría de la población rural. Sin embargo, estas granjas también se caracterizan por una baja productividad, un alta tasa de desempleo oculto y baja competitividad. La mayor parte del sector es “informal”, puesto que sólo una pequeña minoría de los agricultores pagan impuestos sobre la renta o participan en el esquema de seguridad social nacional (OCDE, 2008). También es difícil influenciar a los agricultores con políticas tradicionales del mercado y de los precios, ya que sólo comercializan una pequeña parte de su producción.

Los cultivos son el producto agrícola más importante y contribuyen aproximadamente un 55% del valor total de la producción agrícola. Con la diversidad existente de las condiciones ambientales, los agricultores pueden producir una gran variedad de frutas, verduras, cereales y cultivos industrializados tales como el algodón, la remolacha y el tabaco. En cuanto al uso de la tierra, los cultivos más sembrados son los cereales, especialmente el trigo. Sin embargo, en términos de rendimiento económico (incluyendo exportaciones), los cultivos más valorados son las frutas frescas y secas y los frutos secos, incluyendo cítricos, olivas y avellanas. La ganadería es también una parte importante de la economía agrícola (Yesilada et al. 2010).

Por lo tanto, existe una importante necesidad de desarrollar fuentes alternativas de ingresos y nuevas oportunidades de empleo en las zonas rurales. Esto es especialmente importante, ya que el número de granjas está disminuyendo rápidamente a medida que las poblaciones rurales migran hacia las zonas urbanas. Entre 1991 y 2011 el número total de agricultores en Turquía se redujo en un 25%, de 4,1 millones a 3,0 millones, y todo indica que esta tendencia va a seguir.

### **Experimentación y Producción de la Quinua en Turquía.**

La quinua se introdujo en Turquía por primera vez en 2008 mediante la participación en un proyecto de la Unión Europea enmarcado en el Séptimo Programa titulado “Uso Sostenible del Agua-- Asegurar la Producción de Alimentos en las Áreas Secas de la Región del Mediterráneo

SWUP-MED". El objetivo estratégico del proyecto es mejorar la producción de alimentos en la región mediterránea, influenciada por múltiples factores de estrés abiótico. Este estrés se hace aún más pronunciado por los cambios climáticos, gracias a los cuales se prevé que existirán condiciones más áridas, un aumento en las temperaturas, y mayor variabilidad, lo que a su vez causará desertificación. Uno de los objetivos específicos del proyecto era introducir y probar nuevos cultivos resistentes al cambio climático, como son la quinua y el amaranto, y cultivares con una mayor tolerancia al estrés, seleccionando las variedades más prometedoras. Varios ensayos de campo se llevaron a cabo con los cultivos a prueba de climas (quinua y amaranto) en diferentes lugares con diferentes objetivos en la región mediterránea de Turquía.

En el 2009, 2010 y 2011 se realizaron algunos experimentos de campo para evaluar la respuesta del rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd. L. titicaca) al agua salina y el agua dulce bajo las condiciones climáticas del mediterráneo (Yazar *et al.* 2013a). Esta investigación fue llevada a cabo en el campo experimental del Departamento de Irrigación y Estructuras Agrícolas de la Universidad Cukurova en Adana, Turquía (Figuras 1 y 2). La estación tiene una latitud 36°59'N, una longitud de 35°18' E y está a 50m sobre el nivel del mar. El suelo del sitio de experimentación está clasificado como suelo de la serie Mutlu, (Palexerollic Chromoxeret) con una textura arcillosa a lo largo de su perfil. La capacidad de retención del agua de este suelo es de 198mm en el perfil de suelo de 120cm.

En este experimento, realizado el 2009, se consideraron cuatro tratamientos de riego diferentes: riego completo utilizando agua dulce (FIF), riego completo utilizando agua salina (FIS); el riego deficitario (DI); y el secado parcial de la zona de raíz (PRD). Tanto el tratamiento de riego deficitario como el de secado parcial de la zona de raíz fueron regados utilizando agua dulce. En la práctica del secado parcial de la zona de raíz, la mitad de la raíz es irrigada y la otra mitad se debe mantener parcialmente seca.

En el 2010, un total de nueve tratamientos de irrigación fueron incluidos: riego completo

usando agua dulce, riego completo usando agua salina en distintas concentraciones (FIS-40 dS/m; FIS-30 dS/m; FIS-20 dS/m; FIS-10 dS/m), riego deficitario (DIF-50 y DIF-75; DIS-40) y tratamiento seco.

En el 2011, un total de ocho tratamientos de regadío fueron incluidos: riego completo usando agua dulce, riego completo usando agua salina en distintas concentraciones (FIS-40 dS/m; FIS-30 dS/m; FIS-20 dS/m; FIS-10 dS/m), riego deficitario (DIF-50 y DIF-75; DIS-40) y tratamiento seco. El agua salina fue preparada al diluir agua de mar con agua de canal. Se utilizó una variedad dia neutro (Titicaca) (Christiansen *et al.*, 2010), las semillas de cual fueron seleccionadas por la Universidad de Copenhagen de material oriundo del sur de Chile. Las semillas de quinua fueron sembradas a mano, con 3-4cm de separación en cada hilera y con 50cm de distancia entre hileras, el día 10 de abril 2009, 26 de marzo 2010 y 28 de marzo 2011. Al momento de sembrar se incorporó al suelo un fertilizante compuesto (15-15-15 de N, P2O5 y K2O) en una proporción de 75 kg/ha. Se realizó un raleo de las plantas de quinua para dejar una distancia de 15cm entre ellas en cada hilera. Luego, sistemas de riego por goteo fueron instalados y comenzaron los sistemas de riego antes mencionados. Se indujo la salinización al inicio de la formación del capullo floral. En el 2009, la quinua recibió un total de 302mm bajo condiciones de riego completo, 151mm bajo el tratamiento de riego deficitario (DI) y el secado parcial de la zona de raíz (PRD). En el 2010, un total de 320mm de agua de riego fue aplicada a los tratamientos de regadío con agua salina y agua dulce; DIF-50 y DIS-50 recibieron 160 mm y DIF-75 recibió 240 mm de agua. En el 2011, una sola irrigación fue aplicada a los tratamientos debido a la gran cantidad de lluvia que hubo en este período.

Los datos acerca del rendimiento de grano, agua de irrigación aplicada, rendimiento del material seco (DM), uso de agua en cultivos según estación (ET), productividad del agua (WP) y eficiencia en el uso del agua de riego (EUAR) obtenidos bajo los tratamientos de irrigación en la región mediterránea de Turquía se muestran en los cuadros 1-3.

**Cuadro 1.** Datos de rendimiento del grano, riego aplicado, uso de agua en cultivos estacionales (ET), productividad de agua de cultivo (WP), y productividad del agua de riego (IWP) de Quinoa bajo diferentes tratamientos en la región mediterránea de Turquía en 2009.

Tratamiento de riego	Agua de riego mm	ET mm	Rendimiento del grano kg ha <sup>-1</sup>	Rendimiento de biomasa kg ha <sup>-1</sup>	HI %	1000 Peso de la semilla g	IWP kg m <sup>-3</sup>	WP kg m <sup>-3</sup>
FIF	383	450a*	2120	4052.5	52.3	2.6	0.55b	0.47b
DIF	202	343b	1690	3502.5	48.2	2.2	0.84a	0.49b
PRD	202	321b	1870	3519.2	53.1	2.1	0.93a	0.58a
FIS	383	462a	1780	3697.9	48.1	2.4	0.46b	0.39c
LSD		65.8	ns**	ns	ns	ns	0.269	0.09

\* Los promedios seguidos por la misma letra en una columna no son estadísticamente diferentes a  $P \leq 0,05$ ; \*\*ns: no significativo

**Cuadro 2.** Valores de Agua de riego aplicada, evo transpiración (ET), rendimiento de granos, 1000 peso de la semilla, productividad del agua (WP), productividad del agua de riego (IWP) e índice de cosecha (HI) para quinoa en diferentes tratamiento de riego en 2010.

Trat.	Riego. mm	ET mm	Rdto. De grano g/plant	Rdto. De grano kg/ha	1000 Peso de la semilla g	WP kg/m <sup>3</sup>	IWP kg/m <sup>3</sup>	HI %	Reducción en Rdto %
FIF	320	576a	29.9ab	2986ab	3.1ab	0.52bc	0.88ab	44	5.8
FIS-40	320	466c	31.7a	3169a	3.2a	0.68b	0.94ab	46	0.0
DIF%50	160	348c	17.8c	1778bc	2.5cd	0.51bc	1.00a	45	43.9
FIS-30	320	481c	21.6bc	2164bc	3.1ab	0.45c	0.62c	51	31.7
FIS-20	320	524b	23.6abc	2362abc	3.1ab	0.45c	0.68c	48	25.5
FIS-10	320	516b	27.4abc	2735abc	2.9abc	0.53bc	0.80b	48	13.7
DIS%50	160	322c	18.9c	1889c	2.9abcd	0.59bc	1.07a	48	40.4
DIF%75	240	483c	23.2abc	2316abc	2.7bcd	0.48bc	0.89ab	44	26.9
DRY	0	247e	17.1c	1714bc	2.5d	1.39a	0.00	45	46.0
LSD		54	8.773	877.3	0.407	0.12	0.14	ns	

\* Los promedios seguidos por la misma letra en una columna no son estadísticamente diferentes a  $P \leq 0,05$ ; \*\*ns: no significativo

**Cuadro 3.** Valores de rendimiento de grano, 1000 peso de semilla, altura de la planta e índice de cosecha para quinua bajo diferentes tratamientos de riego en 2011.

Tratamiento	Altura cm	Peso de la panícula g	Peso del vástago g	Biomasa g plant <sup>-1</sup>	Rdto del grano por planta g	1000 Peso de semilla g	HI %	Reducción de Rdto. %
DRY	80a	31.18b	12.40a	43.58b	23.19b	2.56c	53	27.1
FI-100	84a	41.09a	14.38a	55.47a	31.80a	2.83ab	57	0.0
DI-75	74ab	37.98ab	11.35ab	49.34ab	26.35ab	2.82ab	53	17.1
PRD	70b	36.41ab	10.91ab	47.32ab	26.47ab	2.78ab	56	16.8
DI-25	82a	33.94b	11.35ab	45.29ab	24.37ab	2.98a	54	23.4
FS-10	70b	36.97ab	11.98ab	48.96ab	28.58a	2.98a	58	10.1
FS-20	69b	41.88a	10.29ab	52.18a	30.63a	2.90a	59	3.7
FS-30	73ab	36.45ab	9.95ab	46.40ab	27.00ab	2.72ab	58	15.1
LDS	6.0	3.37	1.48	5.13	7.837	0.04211	ns	

\*Los promedios seguidos por la misma letra en una columna no son estadísticamente diferentes a  $P \leq 0,05$ ; \*\*ns: no significativo

La irrigación de la quinua con agua salina en las condiciones climáticas mediterráneas indicó que el crecimiento de dichas plantas no ha sido afectado negativamente por la salinidad del agua de riego de 40 dS/m, en comparación con el riego de agua dulce. Sin embargo, hubo estrés de agua en los tratamientos de riego deficitario lo que redujo el rendimiento de la biomasa de la planta de manera considerable. Los más altos niveles de salinidad del suelo se midieron en los 10 cm superiores del suelo en la parcela de tratamiento FIS-40 seguido por los tratamientos DIS-50 y FIS-30. La acumulación de sal disminuye con la profundidad del suelo. A más alta salinidad de irrigación, más alta la salinidad del suelo. El riego deficitario con salinidad de 40dS/m obtuvo la mayor cantidad de acumulación de sal en la capa superior del suelo. Los parámetros de rendimiento tales como biomasa sobre el suelo, rendimiento de semilla y HI dan a entender que la variedad de quinua Titicaca se adapta bien al ambiente mediterráneo. No se veía afectado el rendimiento del cultivo por el estrés salino ni por el estrés hídrico, por lo que la quinua puede ser definida como un cultivo tolerante a la salinidad y la sequía.

La reutilización es un método importante y natural

de la gestión de las aguas de drenaje. Con el fin de desarrollar el máximo beneficio de un suministro de agua y para ayudar a deshacerse de las aguas de drenaje, las estrategias para la reutilización del agua han evolucionado. La reutilización del agua debe equilibrarse con las necesidades a corto y largo plazo, teniendo en cuenta tanto los efectos dentro del sitio (locales) y los de fuera del sitio. En las regiones donde hay limitado suministro de agua para irrigación, el agua de drenaje se puede utilizar para complementarla. Sin embargo, la calidad de las aguas de drenaje determina qué cultivos pueden ser regados con ella.

Se llevaron a cabo experimentos en 2012 y 2013 en los campos experimentales del Instituto de Investigación de Recursos Hídricos y del Suelo, ubicado en Tarso, Turquía con el fin de evaluar los efectos de las fechas de siembra y riego suplementario utilizando agua del canal de drenaje (Yazar et al. 2013b). La estación tiene una latitud 37°01'N, una longitud de 35°01' E y está a 10 m sobre el nivel del mar. El suelo del sitio experimental se clasifica como Arikli limoso-franco-arcilloso de relativamente alta capacidad de retención de agua. El experimento se realizó utilizando dos sistemas de riego en línea desde la fuente, para permitir una variación gradual del



riego, en dirección de ángulo recto a la fuente. Se estableció un sistema de rociador de línea para cada recurso de agua. Cuatro niveles de riego fueron previstos, uno completo (I1) y tres de déficit (I2-I4). Los tratamientos I2, I3, y I4 representan riego deficitario de un 20, 50 y 80%, respectivamente. La variedad de quinua Titicaca fue sembrada el 11 de abril 2012 para una siembra normal, y el 30 de abril para una tardía. Las semillas de quinua (Q52) fueron entregadas a una empresa de producción de plántulas en Mersin, y luego las plántulas fueron transplantadas a parcelas experimentales con 50cm entre hileras y 20cm entre las plantas. La calidad de las aguas de drenaje varió entre un mínimo de 0,573 dS/m en junio a 1,684 dS/m en abril. Las plántulas fueron transplantadas el 11 de abril y el 30 de abril, 2012 para una siembra normal y tardía, respectivamente. Se aplicó e incorporó al suelo 70kg/ha de fertilizante compuesto de 20-20-20 en ambas fechas de siembra. El 15 de mayo, 2012 se aplicó 50kg/ha de urea (46 % N). La quinua fue cosechada el 10 de julio y el 20 de julio 2012, respectivamente.

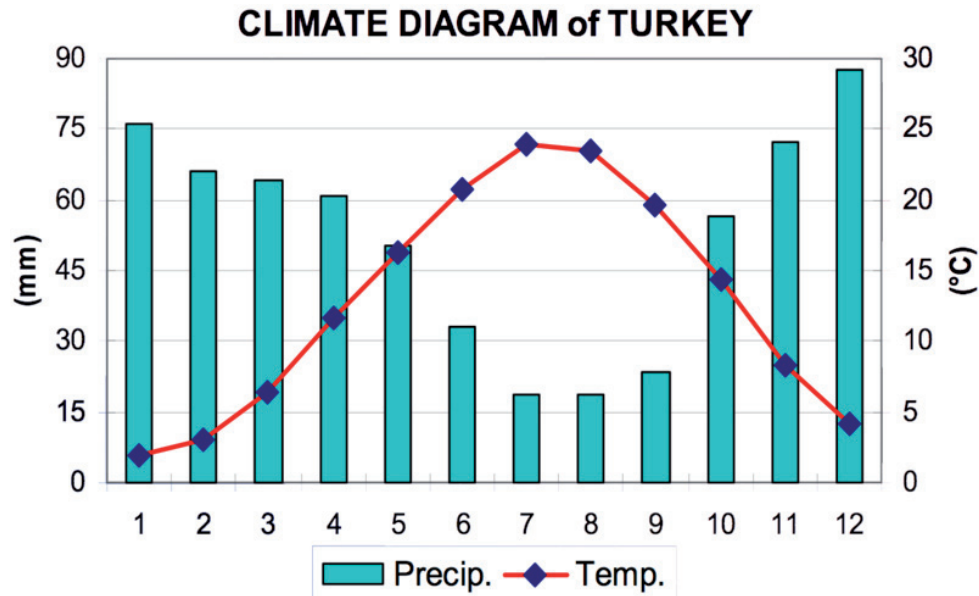
La cantidad de agua de riego aplicada a las parcelas de tratamiento varió entre 71-311mm, y entre 95 -395mm para los períodos de siembra normal y de siembra tardía, respectivamente. El uso del agua estacional varió de 222 mm de secano a 456 mm en el nivel I1 en siembra normal; y los valores correspondientes para la siembra tardía fueron 208 y 473 mm, respectivamente. Los niveles de riego afectaron significativamente ( $P \leq 0,05$ ) el rendimiento de grano de quinua. En general, los rendimientos de grano de quinua en las parcelas de siembra normal fueron más altas que en las parcelas de siembra tardía. Por lo tanto, las diferencias en el rendimiento entre los tratamientos para la siembra normal y tardía son estadísticamente significativas. El mayor rendimiento de grano fue de 6.380 kg/ha y se obtuvo en las parcelas de tratamiento adyacentes a la fuente de la línea en el tratamiento I1 en la siembra normal. Para la siembra tardía, el mayor rendimiento de grano se obtuvo de las parcelas de tratamiento I1, con 2.610 kg/ha. Los rendimientos más bajos se obtuvieron de las parcelas de tratamiento I5, con 2.210 en siembra normal y 1.100 en siembra tardía. El rendimiento

de grano se redujo significativamente con la disminución de la cantidad de agua de riego. La eficiencia del uso del agua (EUA) varió entre 1,00 y 1,57 kg/m<sup>3</sup> en la siembra normal y entre 0,53 y 0,75 kg/m<sup>3</sup> en la siembra tardía.

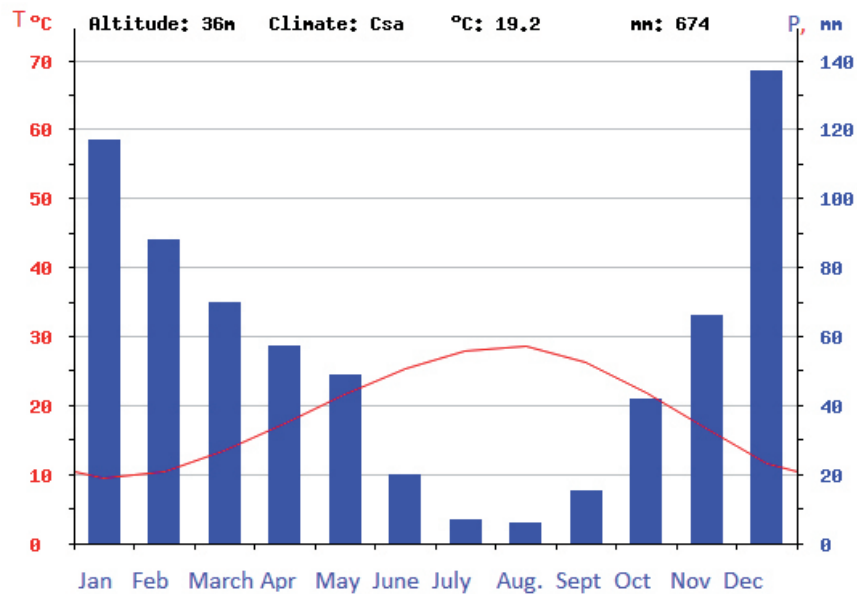
La altura de la planta varió desde 50,8cm hasta 75,3 cm en la siembra normal; y entre 47,0-75,3 cm para la siembra tardía. El tratamiento I1 resultó en los mayores valores para la altura de las plantas en todas las fechas de siembra. Los valores promedio de altura de las plantas se vieron afectados de manera significativa tanto por los tiempos de riego como por los niveles de riego. Mientras más disminuía la cantidad de agua de riego aplicada, disminuía también significativamente la altura de la plantas.

Otros atributos de rendimiento, tales como el valor del peso de 1000 granos, varió entre un mínimo de 3,03g hasta un máximo de 3,29g en la siembra normal y varió desde 2,62 hasta 2,79 en las condiciones de siembra tardía. El peso para los 1000 granos iba aumentando con distancia desde la lateral y mientras la cantidad de agua de riego disminuía.

Los resultados mostraron que el rendimiento de grano, el uso estacional de agua, la eficiencia del uso del agua (WUE) y el uso eficiente del agua de riego (IWUE) dependían de los rangos controlados del contenido de agua en el suelo. La respuesta en el rendimiento de grano al riego varía considerablemente debido a las diferencias en el contenido de agua del suelo y la distribución de las precipitaciones durante las temporadas de crecimiento. Se encontraron importantes relaciones lineales entre el rendimiento de semilla y la evapotranspiración (ET) tanto en la siembra normal como la tardía (Figura 3a). Las relaciones entre el agua de riego y el rendimiento de la quinua se explican por una fuerte función polinómica para cada tiempo de siembra (Figura 3b). El rendimiento de las semillas de quinua aumentó con el aumento de ET tanto en la siembra normal como en la tardía. El consumo de agua se redujo de manera significativa en las parcelas que recibieron poca cantidad de riego.



**Figura 3a.** Precipitación y temperatura promedio mensual en Turquía



**Figura 2:** Precipitación y temperatura promedio mensual en Adana, Turquía

### Aspectos económicos de la producción y los mercados de la quinua.

El mercado actual de la quinua en Turquía es muy limitado. Es necesario un gran esfuerzo para educar a la gente en Turquía acerca de lo qué es la quinua y cómo cocinarla antes de que el mercado pueda expandirse. Existe un mercado internacional de la quinua puesto que está disponible para la venta

en la mayoría de tiendas de alimentos saludables y en los hipermercados de Turquía. El consumo de quinua está limitado a aquellos consumidores con conocimiento de alimentos saludables. Los individuos que han investigado acerca de la quinua la valoran por sus beneficios de salud y por su condición libre de gluten. La quinua no es un producto “consumido por las masas”, sino más

bien es un producto “descubierto” por aquellos consumidores con educación y preocupados por su salud.

En Turquía este cultivo ha estado disponible en tiendas de alimentos saludables y más recientemente en los supermercados de las grandes ciudades a precios que van desde los €5 a €8 por kg. La alta calidad nutricional, buen sabor, y sus muchos usos en productos alimenticios, permiten a la quinua tener un gran mercado potencial. La industria alimentaria está lista para hacer productos de quinua gracias al mercado actual y a su buen potencial de crecimiento. Sin embargo, estas empresas no tienen incentivos para hacer productos de quinua hasta que se hayan reducido los problemas culturales y se haya aumentado el rendimiento para que exista un suministro más grande y asegurado para los elaboradores.

Dado que la producción de quinua aun no se practica comercialmente en Turquía, hemos estimado los costos de producción de la quinua en condiciones de secano, utilizando los datos obtenidos de los experimentos realizados en Adana. El costo de la producción de quinua en condiciones de secano se estimó en 1.324 TL/ha. Para la quinua irrigada con riego a presión, el costo total de producción es de aproximadamente 3.000 TL/ha. El costo total de la producción de trigo y garbanzo en condiciones de secano es de 1.653 TL/ha, y 1.463 TL/ha, respectivamente (Yazar et al. 2013c). Se espera que los costos de producción para los productores del mediterráneo vayan disminuyendo, puesto que estarán más familiarizados con el cultivo y podrán obtener rendimientos más altos. Para los productores, el costo de producción por kg de quinua oscila desde 0,60 a 0,80 TL para condiciones de secano y 0,50 a 0,90 TL para condiciones de riego (1 TL es igual a \$0,55 y €0,42 en 2013).

Es necesario evaluar las percepciones de los agricultores y obtener retroalimentación acerca de la adopción de nuevos cultivos (como la quinua y amaranto) para mejorar la eficiencia de la investigación, el intercambio de tecnología, y el flujo de información a los encargados de formular políticas. Es importante discernir y comprender qué determina la conducta y las actitudes de los agricultores hacia la adopción de nuevos cultivos. Los agricultores deben analizar los costos financieros y sociales así como también

los beneficios de los nuevos cultivos, las prácticas agrícolas y las actividades económicas. Se debe analizar y entender bien los factores que consideran los agricultores cuando evalúan un cambio en el uso de las tierras, en las actividades de producción en la granja, y en la asignación de recursos. Esto ayudará a desarrollar e implementar guías para reclutar cultivadores de quinua y para promover la participación a largo plazo del productor en Turquía.

La utilización de quinua es un mercado en vías de desarrollo y aun está en la etapa de investigación y demostración. La mayoría de la investigación de la quinua ha estado centrada en la región mediterránea. La quinua es un cultivo alimenticio muy valioso. La producción de quinua beneficia a los agricultores así como a los contribuyentes. Debido a que el mercado de la quinua no está bien desarrollado, se necesita información acerca de las actitudes de los productores hacia los mercados de quinua, los rendimientos netos que se requieren para producir quinua, y la superficie que podría ser convertida en quinua.

El propósito de este estudio es evaluar las opiniones del productor acerca de los mercados de quinua, su voluntad de producir quinua, y la cantidad y el tipo de superficie de producción agrícola que podrían ser convertidas. Como parte de este estudio, se realizó una encuesta a los agricultores de Adana para obtener información acerca de cómo ven la producción de quinua (Xhoxhi 2012; Pedersen *et al.* 2013). Se utilizó un modelo logit para mostrar qué características tienen los agricultores y las granjas con mayor tasa de adopción de quinua. Usando un modelo logit estimado, se realizó un análisis para predecir la probabilidad que adopten la quinua aquellas personas que contestaron la encuesta y quienes no estaban seguros de querer cultivarla.

Se realizaron entrevistas estructuradas para la recolección de información entre los agricultores. Los resultados muestran que el conocimiento de los agricultores acerca de la quinua es bajo. Los resultados también mostraron que hay diferencias en el conocimiento acerca de la quinua entre las categorías de agricultores estudiadas. En general, los agricultores tienen una buena percepción acerca de las nuevas tecnologías y están dispuestos a adoptar este cultivo. La principal característica que los agricultores desean ver en la quinua para

poder cultivarla son los factores económicos. Dado que la sostenibilidad del cultivo en Turquía depende de este factor, se debe considerar cuidadosamente, especialmente en vista de la complejidad actual del mercado mundial de la quinua. Una buena manera de introducir el cultivo a los agricultores de Turquía es mediante proyectos pilotos con programas educativos que incorporen el conocimiento y la percepción de los agricultores (Lind et al. 2013).

De la discusión presentada hasta el momento, pareciera que hay un importante mercado potencial para la quinua, ya que es un producto libre de gluten. Las estrategias que tienen como objetivo introducir este cultivo en la región del mediterráneo deben tratar de establecer vínculos entre las compañías de alimentos o una cooperativa de agricultores que operan en estas regiones y con los agricultores. Por ejemplo, una estrategia debe tener como objetivo aumentar la conciencia de las empresas acerca de la quinua. Por otra parte, se debe informar también de los beneficios potenciales de los alimentos sin gluten en los países industrializados y también ciudades de Turquía y Marruecos (por ejemplo, Estambul, Ankara, Adana). Será más probable que la introducción de la quinua al sistema de producción de los agricultores sea un éxito si se realizan estas prácticas.

La creación de un mercado para la quinua en Turquía tiene varios beneficios para las dos regiones. Uno de estos beneficios es hacer productivas las tierras y los suelos con elevados niveles de salinidad y que no son usados para otros cultivos. Una desventaja de la quinua es su bajo rendimiento y alto trabajo en comparación con el maíz y el trigo--especialmente en relación con el consumo local donde el rendimiento es muy importante. Además, la quinua tiene un precio más alto en el mercado internacional comparado con maíz y el trigo. Por lo tanto, los bajos niveles de rendimiento y altos costos de trabajo pueden ser cubiertos por el alto precio de la quinua.

Wossink y Boonsaeng (2003) observaron que la percepción y el conocimiento de los agricultores es crucial para una investigación exitosa y para el desarrollo de estrategias. Además, indicaron que muchas políticas agrícolas prometedoras han fallado porque eran inapropiadas ante las necesidades y percepciones de los agricultores. La percepción generalmente se refiere a cómo

las personas seleccionan, organizan e interpretan información que se ha obtenido mediante los sentidos o la experiencia. La sustentabilidad de la producción agrícola depende mayoritariamente en la acción de los agricultores y en sus habilidades en la toma de decisiones dado el nivel de conocimiento e información que está disponible para ellos. Sin embargo, el rol de la percepción ha recibido escasa atención en los estudios realizados acerca de la adopción de nuevas tecnologías por parte de los agricultores. Además, ha habido una falla generalizada de los programas de hacer frente a las situaciones donde el conocimiento de los agricultores es inadecuado y con vacíos.

Por lo tanto, para prevenir un fracaso con la quinua y asegurar la adopción sustentable de esta nueva tecnología, se debe tener un buen entendimiento acerca del conocimiento, las necesidades y las percepciones de los agricultores para poder diseñar un sistema que permita introducirles el cultivo antes mencionado. El estudio se complementa con algunos estudios científicos disponibles acerca de la sustentabilidad de la quinua. Se debe llevar a cabo una evaluación acerca de la percepción de los agricultores y los problemas para eliminar cualquier prejuicio a favor de la innovación que puede caracterizar la investigación inconscientemente (Rogers 1995).

El estudio ayudará a proveer información científica acerca de los factores sociales y psicológicos necesarios para influenciar la aceptación del nuevo cultivo y cualquier producción a gran escala de la quinua en Turquía. Esto sería clave para estrechar la actual brecha de conocimiento social y psicológico acerca de la quinua. También formaría la base para entender los factores sociales y psicológicos subyacente a la adopción de un nuevo cultivo por parte de los agricultores. Los factores psicológicos representan las incertidumbres creadas en las mentes de las personas que aceptan esta innovación, así como también la oportunidad de reducir la incertidumbre a través de la resolución de los problemas percibidos de los agricultores. Por otra parte, los factores sociales tienen que ver con el grado en que los agricultores dependerán de la evaluación subjetiva de la innovación por aquellos individuos que consideran más como ellos mismos, es decir, otros agricultores que han adoptado previamente la innovación (Rogers, 1995).



Además, ayudará a promover la producción sostenible de la quinua a gran escala con el fin de asegurar ingresos estables para los agricultores e invariablemente reducir los niveles de pobreza en Turquía. También es importante el hecho de que acceder a la capacidad potencial de los agricultores turcos para producir la quinua a gran escala de manera sostenible proporcionará a políticos y inversionistas la información necesaria sobre la viabilidad de un proyecto de este tipo.

Por último, el estudio será clave en el diseño de programas educativos apropiados para llenar el vacío en el conocimiento de los agricultores, así como para predisponerlos a tener una percepción objetiva del cultivo, antes y durante su introducción. Esto es de suma importancia ya que la quinua es un cultivo nuevo, y es apropiado que los agricultores tengan un conocimiento adecuado sobre el tema a fin de asegurar un cultivo sostenible.

Las características que deben acompañar un cultivo nuevo antes que los agricultores deseen adoptarla son: disponibilidad de los mercados, ayuda financiera, educación sobre el cultivo, un alto rendimiento, la disponibilidad de fábricas, buenos precios y maduración temprana. En general, los factores económicos dominan sus principales necesidades. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Negatu y Parikh (1999) que la comerciabilidad del producto y el rendimiento de granos son los dos puntos más importantes que influyen en la decisión de adopción. Fernandez-Cornejo y McBride (2002) señalaron que la rentabilidad de una innovación (rendimiento, costo de insumos y el costo de adopción con respecto a las prácticas actuales de gestión) es considerada como la principal motivación detrás de la adopción.

Este estudio ofrece una visión del conocimiento y la percepción de los agricultores sobre la quinua y su importancia para la sostenibilidad de los cultivos en Turquía. Las principales conclusiones y recomendaciones de esta investigación son:

- Los factores económicos dominan los problemas que enfrentan los agricultores y los principales factores mencionados son bajos pagos (precios) y el alto costo de insumos. Los principales problemas sociales incluyen los cuellos de botella administrativos o la interferencia política y la falta de transparencia en los precios, mientras que las

plagas y enfermedades y la sequía figuran como los principales problemas ambientales.

- Los agricultores mencionaron que las ventajas económicas eran muy importantes para influir en si adoptan la quinua. Algunos de los principales factores que influyen en la toma de decisiones de adoptar un nuevo cultivo son: disponibilidad de los mercados, ayuda financiera, capacitación para cultivar, alto rendimiento, buenos precios y una maduración temprana. Estos factores económicos también se señalaron como el factor decisivo que influyó en su previo comportamiento post-adopción.

La conciencia de los agricultores, y su conocimiento acerca de la remolacha azucarera, era en general bajo. Por lo tanto, existe una brecha de conocimiento entre los agricultores turcos estudiados.

- En general, no hubo diferencias en la percepción hacia las nuevas tecnologías entre los agricultores en los ensayos de quinua y los agricultores que no participaron del ensayo. Todos ellos tienen una percepción positiva acerca de la innovación y están dispuestos a adoptar a la quinua como uno de sus cultivos. Sin embargo, un análisis de su comportamiento posterior a la adopción muestra que los agricultores no van a dudar en dejar de cultivar quinua si encuentran que no está cumpliendo con sus necesidades

- Para que la quinua sean sustentable en Turquía, se debería incorporar el conocimiento y percepción de los agricultores en un programa educativo antes de la introducción a gran escala de los cultivos. Dado que los dominios de la sustentabilidad están relacionados entre sí en vez de ser distintivos, la sustentabilidad de la psicología social que ha sido analizado por esta investigación sólo puede funcionar si los aspectos económicos y biológicos la complementan.

- Es muy importante el método de introducción de nuevos cultivos mediante pilotos ya que brindará a los agricultores, agentes de extensión y las partes interesadas una oportunidad para controlar el progreso del proyecto, así como la realización de programas educativos eficaces. Se deben establecer más proyectos de experimentación en coordinación con el Ministerio de Agricultura para establecer y mejorar la conciencia y los conocimientos prácticos de los agricultores. Esto debiera de

incluir un programa educacional que considere el conocimiento local de los agricultores y cuánto pueden depender de su conocimiento previo. Un buen conocimiento ayudará a los agricultores a tener una percepción correcta de los cultivos; esto es clave para influir en la decisión de adoptar el cultivo de los agricultores que aún no lo han hecho.

- Se deben tomar medidas inmediatas para establecer un mercado para poder realizar ensayos a gran escala ya que los ensayos a pequeña escala actuales no pueden esclarecer todas las posibles dificultades a la hora de la producción a gran escala. El mercado es fundamental para los agricultores del piloto actual, porque determinará si van a seguir cultivando la quinua o no. También los va a predisponer al factor más importante que influye en las decisiones de adopción del futuro y les ayudará a formar una percepción definitiva del cultivo.

- Las investigaciones a futuro deberían mirar a la sustentabilidad económica de la quinua en Turquía y cómo el proyecto debe llevarse a cabo con el fin de traer beneficios a todos los grupos.

#### Referencias.

- Adolf VI, S Shabala, MN Andersen, F Razzaghi & S-E Jacobsen (2012b). Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Plant Soil* 357, 117-129.
- Adolf VI, S-E Jacobsen & S Shabala (2012a). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental & Experimental Botany*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004>
- Bhargava A, S Shukla, D Ohri (2006). *Chenopodium quinoa*-An Indian perspective. *Ind. Crop. Prod.* 23, 73-87.
- Çakmak EH (2004). Structural change and market opening in agriculture: Turkey towards EU Accession, Economic Research Center Working Papers in Economics 04/10, Middle East Technical University, Ankara.
- Comai S, Bertazzo A, Bailoni L, Zancato M, Costa CVL, Allegri G (2007). The content of proteic and nonproteic (free and protein-bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. *Food Chem.* 100 (4), 1350-1355.
- Derpsch R & T Friedrich (2010). Sustainable crop production intensification- the adoption of conservation agriculture worldwide -16th ISCO Congress, 8-12 Nov. 2010, Santiago, Chile.
- Fernandez-Cornejo J & W McBride (2002). Adoption of Bioengineered Crops. Agricultural Economic Report No. (AER-810) 67 pp, May 2002. USDA Economic Research Service, Estados Unidos.
- Garcia M (2003). Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an irrigation strategy in the Bolivian Altiplano. Dissertaciones de Agricultura 556, Faculty of Applied Biological Sciences, K.U.Leuven, Bélgica.
- Geerts S, D Raes, M Garcia, J Vacher, R Mamani, J Mendoza, R Huanca, B Morales, R Miranda, J Cusicanqui & C Taboada (2008a). Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy* 28, 427-436.
- Geerts S, D Raes, M Garcia, O Condori, J Mamani, R Miranda, J Cusicanqui, C Taboada & J Vacher (2008b). Could deficit irrigation be a sustainable practice for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the Southern Bolivian Altiplano? *Agricultural Water Management* 95, 909-917.
- Gomez-Pando LR, R Alvarez-Castro & E de la Barra (2010). Effect of salt stress on Peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd: A promising crop. *J. Agron. Crop Sci.* 196, 391-396.
- Gregory PJ (2006) Food Production under Poor, Adverse Climatic Conditions. In Proc., IX ESA Congress 4-7 September 2006, Warsaw, Poland, 19 pp.
- Hariadi Y, K Marandon, Y Tian, S-E Jacobsen & S Shabala (2011). Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plant grown at various salinity levels. *J. Exp. Bot.* 62, 185-193.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. IPCC Fourth Assessment Report (AR4). Cambridge University Press.
- Jacobsen S-E & S Shabala (2013). Ionic content of two hydroponically grown quinoa cultivars contrasting in salinity tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science* (in press).
- Jacobsen SE (2003). The world wide potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Food Rev. Int.*

Jacobsen S-E, A Mujica & CR Jensen (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Rev. Int.* 19 (1&2), 99-109.

Jacobsen S-E, Monteros C, Christiansen JL, Bravo LA, Corcuera LJ & Mujica A (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy* 22, 131-139.

Koyro H-W, SS Eisa & H Lieth (2008). Salt tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd., grains of the Andes: Influence of salinity on biomass production, yield, composition of reserves in the seeds, water and solute relations, in: Lieth H *et al.* (Eds.), *Mangroves and Halophytes: Restoration and Utilisation*. Springer Science and Business Media BV, pp.133-145.

Lin, KH, PY Chao, CM Yang, WC Cheng, HF Lo, TR Chang (2006). The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves. *Bot. Stud.* 47, 417-426.

Lind KM, SM Pedersen, O Benlhabib JE Orum (2013). Institutional barriers for producing quinoa in Morocco- a description of supply chain and markets. Conferencia Internacional sobre: Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate. 10-15 marzo, Agadir, Marruecos.

Mujica A, S-E Jacobsen, J Izquierdo (2001). Resistencia a factores adversos de la quinua. In: Mujica A, S-E Jacobsen, National Research Council (NRC) (1989) *Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes With Promise for Worldwide Cultivation*. National Academy Press, Washington, DC, pp. 415.

Munns R & M Tester (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 651-681.

Negatu W & Parikh A (1999). "Does Technological Innovation Improve Household Food Security??" University of East Anglia Discussion Papers in Economics 9813, School of Economics, University of East Anglia, Norwich, Reino Unido.

OECD (2008). *Environmental Performance of Agriculture in OECD Countries Since 1990*. Organisation for Economic Co-operation and

Development, Paris.

Pearsall DM (1992). The origins of plant cultivation in South America. In Cowan, CW Watson, PJ, (Eds.), *The Origins of Agriculture*, Washington DC, Smithsonian Institute Press, 173-205.

Pedersen SM, O Benlhabib, O Xhonxhi, KM Lind, JE Orum (2013). Farmers perception of quinoa-experience from Bouchane region of Morocco and Adana in Turkey. Conferencia Internacional sobre: Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate. 10-15 marzo, Agadir, Marruecos.

Pulvento C, M Riccardi, A Lavini, G lafelice, E Marconi & R d'Andria (2012). Yield and quality characteristics of quinoa grown in open field under different saline and non-saline irrigation regimes. *J. Agronomy & Crop Science* 198(4):254-263.

Rahman S (2003). "Profit efficiency among Bangladeshi rice farmers," *Food Policy*, Elsevier, vol. 28 (5-6), paginas 487-503.

Razzaghi F, SH Ahmadi, S-E Jacobsen, CR Jensen & MN Andersen (2011a). Effects of Salinity and Soil-Drying on Radiation Use Efficiency, Water Productivity and Yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Agronomy & Crop Science* doi:10.1111/j.1439-037X.2011.00496.x

Razzaghi F, SH Ahmadi, VI Adolf, CR Jensen, S-E Jacobsen & M N Andersen (2011b) Water Relations and Transpiration of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Under Salinity and Soil Drying. *J. Agronomy & Crop Science* 197, 348–360

Repo-Carrasco R, C Espinoza & S-E Jacobsen (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kainwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Rev. Int.* 19 (1-2), 179-189.

Rogers E (1995). *Diffusion of Innovations*. (4th ed.). New York, NY: The Free Press.

Ruiz-Carrasco K, F Antognoni, AK Coulibaly, S Lizardi, A Covarrubias, EA Martinez, MA Molina-Montenegro, S Biondi y A Zurita-Silva (2011). Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiol. Biochem.* 49, 1333-1341.

- Sanchez B, H, Lemeur R, Van Damme, P. & Jacobsen, SE (2003). Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19: 111–119.
- Schulze ED, E Beck, K Müller-Hohenstein (2005). *Plant Ecology*. Springer-Verlag, Heidelberg. p 702.
- Steduto P, CT Hsiao, E Fereres, D Raes (2012). *Crop yield response to water*. FAO Irrigation and Drainage Paper 66, Rome.
- Stikic, R, D Glamoclija, M Demin, B Vucelic-Radovic, Z Jovanovic, D Milojkovic- Opsenica, S-E Jacobsen & M Milovanovic (2012). Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *J. Cereal Sci.* 55, 132-138.
- Tan, A. (2003). Agricultural Plant Diversity in Turkey. Trabajo presentado en una Reunion de expertos en Indicadores de Agri-biodiversidad realizado entre el 5–8 noviembre, 2001 en Zürich, Suiza, organizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) –visto en :[http://www.oecd.org/data\\_oecd/9/39/40351265.pdf](http://www.oecd.org/data_oecd/9/39/40351265.pdf) (10 septiembre, 2008).
- TUIK (2012). Turkish Statistical Organization. Agricultural census, Ankara, Turkia.
- Ward SM (2000). Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crop Res.* 68:157-163.
- Wossink A & Boonsaeng T (2003). Farmers' Knowledge and Perceptions of Animal Waste Management Technologies: An Explorative Study for North Carolina. ARE Report, No. 29: 22-27.
- Xhoxhi O (2012). The Determinants of Intermediaries' Power over Farmers' Activities: Evidence from Adana, Turkey. Tesis de Magister, Institute of Food and Resource Economics, University of Copenhagen, Dinamarca.
- Yazar A, Ç Incekaya & SM Sezen (2013a). Yield response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd. L52) to saline and fresh water under the Mediterranean climatic conditions. Conferencia Internacional sobre: Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate. 10-15 marzo, Agadir, Marruecos.
- Yazar A, H Barut, D Mart, S Aykanat, M. B Torun, B Çakır (2013c). Comparison of Wheat Based Rotation Systems vs Monocropping under Dryland Mediterranean Conditions. Conferencia Internacional sobre: Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate. 10-15 marzo, Agadir, Marruecos .
- Yazar A, SM Sezen & YB Çolak (2013b). Supplemental irrigation of wheat and quinoa using drainage canal water under the Mediterranean environmental conditions. Conferencia Internacional sobre: Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate. 10-15 marzo, Agadir, Marruecos
- Yesilada A, M Ucer & I Aksoy (2010). *Turkish agriculture sector*. Egeli & Co., Turkia.



## CAPÍTULO 6.15.

## TÍTULO: EL ESTADO DE LA PRODUCCIÓN E INVESTIGACIÓN DE LA QUINUA EN MARRUECOS

\* Autor para correspondencia: Ouafae BENLHABIB <[o.benlhabib@iav.ac.ma](mailto:o.benlhabib@iav.ac.ma)>

**Autores:**

OUAFAE BENLHABIB<sup>a</sup>, SVEN-ERIK JACOBSEN<sup>b</sup>, RICK JELLEN<sup>c</sup>, Jeff MAUGHAN<sup>c</sup>, REDOUANE CHOUKRALLAH<sup>d</sup>, MOHAMED OUSSIBLE<sup>a</sup>

<sup>a</sup> IAV Hassan II Rabat, Marruecos,

<sup>b</sup>Universidad de **Copenhague**, Dinamarca,

<sup>c</sup>Ciencias Vegetales y de Vida Silvestre, BYU, Utah, EE.UU)

<sup>d</sup>IAV Hassan II, Agadir, Marruecos)

**Resumen:**

El cambio climático, el aumento de la población y el sobrepastoreo han creado una necesidad urgente en Marruecos para desarrollar un nuevo enfoque para la conservación de los recursos genéticos de los cultivos nativos y la protección de la seguridad alimentaria - especialmente para los pobres rurales. El diagnóstico preliminar, realizado en el 2000 en la región de Khenifra, en las montañas del Atlas Medio, tuvo como objetivo identificar limitaciones sociales, económicas y técnicas. Una de las principales prioridades fue la diversificación de cultivos y la introducción de cultivares adaptados. La quinoa se posiciona como un potencial nuevo cultivo con un alto valor nutricional, especialmente para aquellas áreas que experimentan condiciones de sequía en forma frecuente.

Los objetivos específicos del proyecto IAV-BYU, iniciado en 1999, fue hacer frente a los problemas de seguridad alimentaria de los agricultores marroquíes mediante la selección de nuevos cultivos con los genotipos adecuados para mejorar las necesidades dietéticas. Se lograron importantes resultados científicos, relacionados con el cultivo, adaptación y producción de la quinoa.

El área de cultivo de la quinoa también se extendió a la región semi-árida de Rhamna en el 2008, a través del proyecto Uso Sustentable del Agua en el Mediterráneo semi-árido (SWUP- Med por sus siglas en inglés), patrocinado por la Unión Europea.

La quinoa fue seleccionada por el proyecto SWUP-Med específicamente para diversificar y mejorar la sustentabilidad de los sistemas de cultivos del mediterráneo.

Las 24 accesiones de quinoa introducidas al área fueron derivadas del vivero internacional FAO-CIP (Izquierdo et al., 2003). Durante el primer período de 3 años, el material fue plantado y evaluado en tres sitios de experimentación. Los genotipos con mejor rendimiento fueron seleccionados y distribuidos a los agricultores locales para una evaluación y selección *in situ*. Varias líneas se desarrollaron por el programa IAV y, en el 2005, las líneas más adecuadas fueron entregadas a los agricultores en el Atlas Medio (región de Khenifra) y en el Alto Atlas (región de Marrakech). Las líneas más avanzadas también fueron introducidas en las regiones de Bouchane y Agadir, como parte del proyecto SWUP- Med 2009.

A nivel nacional, la demanda por la quinoa es bastante significativa, pero a nivel local puede variar dramáticamente. Por ejemplo, la producción de quinoa en el 2012 en la región de Khenifra fue casi nula debido a la falta de un mercado local donde se puedan vender los productos de quinoa. Similarmente, en la región de Bouchane, la producción total no sobrepasó las 0,5 tons en el 2012 debido a la falta de un mercado local. Hemos notado que muchos agricultores han comenzado, por iniciativa propia, a cultivar la quinoa en varias

regiones a lo largo del país. Sin embargo, la falta de semillas, y aun más importante, la falta de conocimiento acerca del manejo adecuado del sistema de cultivo, dificultan esas iniciativas.

### **El Contexto para la introducción de la quinua en Marruecos.**

El cambio climático y el aumento en la población mundial han creado una situación amenazante a escala local, regional e internacional. En Marruecos, el sobrepastoreo a lo largo de las zonas templadas ha fomentado la necesidad de organizar estrategias para la conservación de los recursos genéticos de

los cultivos nativos y la protección de la seguridad alimentaria. En 1999, se inició un proyecto entre IAV Hassan II y BYU para identificar tareas específicas que ayuden a mejorar las condiciones de la población de tres pueblos montañosos en el Atlas Medio, Marruecos (Figura 1). El diagnóstico preliminar, orientado a identificar las dificultades sociales, económicas y técnicas, ayudó a desarrollar un plan estratégico con tareas adecuadas. Una de las principales prioridades es introducir la diversificación de cultivos y cultivares adaptados. Se ha establecido un listado con especies potenciales



**Figura 1.** Marruecos en el mapa mediterráneo

La quinua tiene un alto potencial en condiciones de sequía, un alto valor nutritivo, y es rica en proteínas y aminoácidos. Comparada con el trigo, la quinua es 40% más alta en hierro, 400% más alta en calcio y 20% más alta en proteínas; además, su contenido de lisina es substancialmente más alto. La quinua sería un gran aporte para mejorar los aspectos locales. La quinua también puede ayudar a mejorar el manejo de los sistemas de cultivo, ya que la rotación tradicional cereal-legumbre ha sido descuidada desde principios de 1980, cuando la sequía comenzó a ser una ocurrencia persistente. Una rotación de quinua-cereal es una alternativa adecuada al monocultivo o al cultivo de cereal-barbecho, el cual era ampliamente utilizado cuando se inició este proyecto en la región del Atlas Medio

El subproyecto IAV-BYU de diversificación de cultivos de quinua tiene cuatro componentes/objetivos. El primer objetivo es mejorar la seguridad alimentaria de los agricultores marroquíes mediante la introducción de nuevos cultivos con un valor nutricional superior y tolerancia al estrés abiótico. Un segundo objetivo es educar a los agricultores locales en la mejora de los recursos genéticos de los cultivos heterogéneos a través de la selección de tipos superiores y la conservación *in situ* de estos materiales vegetales adaptados. Un tercer componente, considerado crítico para el éxito del proyecto, es la educación de las familias locales en la preparación de alimentos y la marketing de los cultivos introducidos. El cuarto objetivo es proporcionar oportunidades educativas internacionales de colaboración para los estudiantes

de IAV y BYU. Los resultados científicos importantes de este proyecto incluyeron la publicación de datos revisados por expertos, relacionados con la producción de la quinua en regiones cálidas y áridas de Marruecos, así como la conservación, la caracterización y la domesticación de germoplasma de *Chenopodiaceae* nativo de Marruecos.

Se ha vuelto a probar la quinua desde el 2008, en la región semi-árida de Rhamna en el proyecto de la Unión Europea SWUP- Med (Proyecto de uso sustentable del agua en la región semi-árida del mediterráneo). El objetivo principal del proyecto es la implementación de nuevas tecnologías de cultivo sustentable que puedan mejorar la productividad y los sistemas de cultivo del mediterráneo bajo las condiciones de cambio climático y aumento demográfico. La quinua fue seleccionada por segunda vez como un cultivo élite para ser introducida en la rotación con cereales y otros cultivos tales como las legumbres de grano.

#### Historia de las áreas de investigación.

La quinua en la región del Atlas Medio.

Durante el primer periodo de introducción y adaptación de la quinua en la región de Khenifra (Marruecos) entre 2000-2007 (Figura 2), el programa pasó por dos fases principales. La primera fase tuvo como objetivo evaluar la adaptación del germoplasma introducido; este paso de adaptación se llevó a cabo durante tres años. La segunda fase tuvo como objetivo seleccionar los mejores genotipos en función de su productividad (rendimiento), la tolerancia a patógenos y plagas y la calidad de la semilla.

#### Fase de adaptación.

A lo largo del primer período del proyecto, la quinua se cultivó en pequeñas parcelas (que no excedían las 0,25 hectáreas) para la evaluación experimental y la selección de genotipos o propagación de semillas adecuadas. A excepción de la labranza mecanizada, todas las otras labores de cultivo, incluyendo el plantado, el desmalezado y la cosecha, se realizaron manualmente. Los experimentos agronómicos de este primer período consistieron únicamente en comparaciones entre el modo de siembra (siembra a voleo y siembra por hilera a mano), así como entre

las fechas de siembra, en invierno (noviembre-diciembre) y a principios de la primavera (febrero-marzo).



**Figura 2:** Sitios de introducción de la quinua

El primer germoplasma de quinua fue plantado en 2000; esto consistió en 14 accesiones obtenidas del vivero internacional CIP- FAO de quinua; se cree que estas muestras son tolerantes a la sequía. El objetivo del experimento fue evaluar la adaptación de las muestras al ambiente marroquí e identificar los genotipos de alto rendimiento con tolerancia a la sequía. El germoplasma introducido fue evaluado en dos regiones y tres sitios: en el Institute Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat (lat. 33,9814294, long. -6,364133, alt. 46 metros); en la región de Khénifra, en el Institut Technique d'Agriculture (ITA) de Ben Khilil (lat. 32,75043, long. -5,684133, alt. 833 metros); y en tres explotaciones agrícolas de subsistencia dentro de la región de Khénifra, en la localidad de Agoudim (lat. 32,8585064, long. -5,623453, alt. 845).

#### Etapas de selección y evaluación.

La etapa de selección de la quinua se inició después de cuatro temporadas de evaluación. En junio del 2004, genetistas de BYU (Drs. Jellen y Maughan), y tres agricultores del pueblo de Agoudim (Omar Ghanem, Oumessaoud Bouhouida y Mustapha

Talaghram) participaron en la selección de los mejores genotipos de sus campos (Foto 1).



De las pruebas de adaptación de la quinua, realizadas en las granjas de ITA de Ben Khlil y las parcelas de los agricultores, se seleccionaron 300 genotipos basados en sus características fenotípicas (Cuadro 1).

**Foto1:** Campo de quinua en la granja de Omar Ghanem, mayo 2004

**Cuadro 1:** Accesiones seleccionadas de las parcelas de los agricultores

Parcela agrícola	accesión	Tipo de panícula	Grupo de precocidad
Mustapha Talaghram	113	2	2
	114	2	4
	119- 121.	2	5
	109	3	2
	200	3	3
	108	4	5
	202	4	3
	105	6	5
Omar Ghanem	137	1	5
	11	2	1
	130	2	2
	208	2	3
	210	3	3
	123	6	2
	214	7	3
Oumessaoud Bouhouida	150	2	5
	151	2	5
	222	4	3
	230	5	3
	142	6	2
	143	6	5
	138	7	2
	224- 226.	8	3



Luego, fueron cosechados de manera separada para establecer la primera reserva genética para el programa de selección de quinua. El criterio de selección utilizado consideró la expansión de

la panícula, sensibilidad a los patógenos y pestes, tamaño y color de la semilla y el rendimiento de grano (Foto 2).



**Foto 2:** Diversidad en la forma y el color de la panícula.

En la siguiente temporada de crecimiento, las 300 líneas establecidas fueron nuevamente evaluadas en los sitios de Rabat y Khénifra en parcelas replicadas de dos hileras. Ambos socios de BYU, que visitaron en mayo del 2005, volvieron a participar en el ciclo de la segunda selección. En esta ocasión, el número de accesiones fue reducido a treinta, seleccionadas de los 300 genotipos originales.

En la época de cultivo 2006-2007, las 30 líneas seleccionadas fueron probadas en dos fechas de siembra (noviembre y febrero) y en dos localidades, el IAV Rabat y Tnine Ait Boukhayou en My Bouazza (lat. 33,293804, long. -6.286926, alt. 912). Además, y durante la misma temporada, se introdujeron 25 accesiones de USDA-NPGS recibidas del Dr. Jellen y plantadas en Rabat para aumentar la semilla y observar su conducta en el ambiente local.

En el 2008-2009, el germoplasma restante consistía de 20 accesiones, 13 líneas de selección y 7 mantenidas de las 25 accesiones introducidas por USDA-NPGS, las cuales fueron evaluadas durante una segunda temporada en el sito de IAV Rabat.

Quinua en Bouchane, región de Rhamna

#### *Evaluación para la tolerancia a la sequía.*

Durante el segundo periodo del programa de introducción de la quinua en Marruecos (2008-2012), el cultivo de la quinua se extendió a las regiones semi-áridas de Bouchane en Rhamna (lat. 32.2732, long. -8.390808, alt. 310 metros) y Ait Melloul Agadir (lat. 30.35.076, long. -9.475965, alt. 19 metros) a través del proyecto EU SWUP-Med (Foto 3). Se utilizó el germoplasma desarrollado a lo largo de 8 años de evaluación y selección de quinua en los ambientes de Khenifra, Rabat y Moulay Bouazza. El objetivo principal de este segundo periodo fue identificar mejores sistemas de cultivo para mejorar la eficiencia del uso sustentable del agua. La quinua, como un cultivo de reciente introducción, se probó como un cultivo de rotación junto con cereales bajo condiciones de tierras secas y de regadío. Los fisiólogos de estrés de cultivos, agrónomos y estudiantes de grado de IAV Hassan II Rabat y Agadir y de la Universidad de Marrakech estuvieron involucrados en el proyecto de la Unión Europea. A través de los experimentos realizados en Rabat, Bouchane y Ait Melloul, cinco líneas avanzadas de las selecciones de IAV fueron evaluadas, notando su potencial de rendimiento y su respuesta al riego suplementario y deficitario. Los experimentos también investigaron el efecto del uso de fertilizantes y del uso de aguas residuales en la productividad de la quinua.



**Foto 3:** Taller de agricultores de quinua en Bouchane, junio 2009

#### *Mecanización del cultivo de la quinua.*

En la segunda fase del proyecto SWUP-Med, los expertos agrónomos investigaron los efectos de la fertilización con nitrógeno y la automatización del cultivo (labranza, siembra y cosecha). Esta información (presentada en hojas de información técnica) es crítica si se va a aumentar el cultivo de quinua en Marruecos. Los agrónomos de IAV presentaron sus resultados en la conferencia de SWUP-Med en Agadir, Marruecos, en marzo 2013.

#### **Recursos genéticos utilizados y su origen.**

La primera introducción de quinua en Marruecos fue en el 2000, y consistía en 14 accesiones del vivero FAO-CIP que fueron seleccionadas por su resistencia a la sequía y su tolerancia a otros factores abióticos. Estas eran oriundas de: Puno (15' S 70' O; 3825 msnm; 450 mm), Arequipa (16' S 72' O; 2350 msnm; 0 mm), y Lima (12' S 77' O; 200 msnm; 10 mm) en Perú, Choquenaira (16' S 68' O; 3822 msnm; 450 mm) en Bolivia y en Naivacha (0' S 36' E; 1829 msnm; 729 mm), Kenya y reunió 14 cultivares y accesiones (MASAL 389, ECU 420, G205DK, PANDELA, UTUSAYA, HUARIPONCHO, AYARA (silvestre), SAYANA, 1 (80) 1, 03-08-51, 03-08-907, 03-21-79BB, 03-21-72 R M, 24 (80) 3).

En el 2006, una segunda colección de quinua

fue introducida desde el Banco de semillas de la USDA y consistió en 25 accesiones de Inglaterra (RU-2), IBTA-Bolivia (KAMIRI, SAYANA, RATUQUI), Holanda (NL-6), Dinamarca (G-205-95, E-DK-4), Chile (BAER II), Brazil (02-EMBRAPA), Perú: Puno (03-21-07988, 03-21-072RM, ILLPA-INIA, Kancolla, Salcedo), Pjino (HUARIPONCHO), Cusco (CICA 17, CICA 127, CICA 17), Colombia (NARINO), UNA-Argentina (Jujuy), INIAP-Ecuador (ECU-420, Ingapirca).

#### **Colaboraciones Internacionales.**

##### *Principales colaboraciones internacionales .*

Eric N. Jellen, Ph.D., Profesor & Director, Departamento de Ciencias de Flora y Fauna, Universidad Brigham Young , 275 WIDB, Provo, Utah, 84602, EEUU. Esta colaboración fue establecida después de una visita a Marruecos en julio del 2000. Dado que el diagnóstico inicial indicó que la prioridad debía ser la diversificación de los cultivos, se sugirió a la quinua como una posibilidad de cultivo para ser introducida en los sitios del proyecto. Jeff Maughan, Ph.D., profesor en el mismo departamento y experto en genética molecular y genómica, se vinculó con el proyecto en el 2004, y ha contribuido a la selección de campos y a desarrollar marcadores basados en el ADN (SSRs, SNPs) que han sido

utilizados para evaluar la diversidad genética en la quinua-- incluyendo los campos seleccionados de Marruecos.

Sven-Erik Jacobsen, Profesor Asistente, Departamento de Agricultura y Ecología, Ciencias de los Cultivos, HOJBAKKEGARD ALLE 3, DK-2630 TAASTRUP, Universidad de Copenhague, Facultad de Ciencias de la Vida, Dinamarca. La contribución del Dr. Sven Jacobsen fue compartir material genético para experimentar en el ambiente de Khénifra y como parte del programa de CIP-FAO dirigido a extender el cultivo de la quinua a las regiones áridas y semi-áridas del mundo. Los resultados de la investigación fueron presentados y publicados en la Conferencia Europea de Ciencias de Cultivos realizada en Copenhague en julio 2004 (Benlhabib *et al.* 2004). En el 2007, se otorgó al Dr. Jacobsen, junto con un equipo de científicos mediterráneos, un proyecto PF7 que, en parte, financió la segunda fase de la introducción y evaluación de la quinua en Marruecos (2008-2012).

#### **Evaluación del germoplasma en diferentes ambientes.**

En el 2000, 14 accesiones con tolerancia a la sequía fueron introducidas por la CIP-FAO. El principal objetivo de dicha introducción fue obtener, a través de la selección, genotipos específicos con una mejora en la tolerancia a la sequía, alto rendimiento y adaptación a las condiciones agroclimáticas de Marruecos.

##### *Región de Khenifra y Rabat.*

El objetivo principal durante la primera estación fue probar la adaptación de las 14 accesiones al agro-clima de Marruecos. Los experimentos preliminares fueron llevados a cabo en tres sitios: IAV Hassan II, ITA Ben Khilil y el pueblo Agoudim, rama de Ait Ali o' Kassou, en la granja de Omar Anwar. Los resultados destacaron la gran diversidad entre las variedades mediante varias características agronómicas: tamaño de la planta, forma y color de la panícula, color del tallo, color y diámetro de la semilla, sensibilidad a las enfermedades y pestes, precocidad, etc. La variedad G205-95DK fue la más temprana, floreciendo después de 55 días. Las semillas de G205-95DK, así como también las de PANDELA y

UTUSAYA, son grandes y de color claro (Benlhabib *et al.* 2004). Las altas temperaturas (47°C) tuvieron un profundo efecto en la fertilidad de las plantas; sólo las variedades que florecen más temprano pudieron evitar la muerte del polen debido al calor. La primera investigación de la quinua demostró que G205-95DK, PANDELA, SAYANA y UTUSAYA estaban semi-adaptadas al ambiente marroquí. Hubo una variación significativa en la mayoría de las características entre cada sitio; la mayoría de los genotipos tuvo una mejor producción en el sitio Khénifra, que está a mayor elevación.

Las primeras pruebas indicaron que la sensibilidad a las enfermedades bióticas es variable entre las 14 accesiones. No hubo variedad que no haya sido afectada. La variedad silvestre Ayara fue la más sensible al daño por insectos. En el IAV, el uso de insecticidas (Paraban) limitó exitosamente el daño de los insectos. Se observaron lesiones debido a los áfidos, pero hubo poco efecto en la salud de la planta.

El tamaño de la semilla difiere de variedad en variedad. El diámetro del grano estaba en los rangos de 0,5 a 2mm, donde las variedades mejoradas tuvieron las semillas más grandes. El color de las semillas varió desde negro, marrón y amarillo a cremoso. Como se sospechaba *a priori*, se confirmó una correlación entre el tamaño de la semilla y el color, pues las semillas más grandes mostraron un color más claro. Ambas características fueron utilizadas como criterios de selección indirecto.

En el sitio Rabat, el rendimiento fue significativamente variable entre las accesiones. El rendimiento de la semilla varió desde 0,255 a 1,512 T/Ha. Los cultivares G205-95DK, PANDELA y UTUSAYA fueron los más productivos, mostrando mejor adaptación bajo las condiciones costeras de crecimiento que caracterizan al sitio de Rabat. (Benlhabib *et al.* 2004). Se descartaron las otras accesiones no sólo por su falta de adaptación, sino también por su susceptibilidad a las enfermedades y, particularmente, por la esterilidad causada por las altas temperaturas que ocurrieron en la etapa de florecimiento (Cuadro 2).

**Cuadro 2:** Rendimiento de los granos de quinua ( $t\ ha^{-1}$ ) en tres de las localidades experimentales en el 2000-2001

Accesiones	Rendimiento de grano ITA Khenifra	Rendimiento de grano IAV Rabat	Rendimiento de grano Agoudim Khenifra
03-21-72 RM	0,00	0,924	0,0144
03/08/51	0,00	1,188	0,902
03-08-907	0,00	0,255	0,521
03-21-79BB	0,00	1,155	0,070
SAYANA	2,383	0,354	0,150
1 (80) 1	0,00	0,274	0,360
24 (80) 3	0,006	0,410	0,455
MASAL 389	0,00	0,228	0,00
ECU 420	0,00	1,025	0,221
<b>G205DK</b>	<b>4,644</b>	<b>1,512</b>	<b>3,463</b>
PANDELA	0,900	0,840	0,164
UTUSAYA	0,508	1,267	0,506
HUARIPONCHO	0,00	.1.10	0,038
AYARA (silvestre)	0,00	0,855	0,267

En el sitio ITA Ben Khlil, el rendimiento de la quinua estuvo correlacionado positivamente con la precocidad y estuvo vinculado negativamente con la sensibilidad a las altas temperaturas durante la etapa de florecimiento (Benhabib *et al.* 2004). Las variedades Sayana, G205-95DK y Pandela fueron las accesiones más tempranas, y fueron también las más productivas. Las otras accesiones exhibieron sólo productividad. Las altas temperaturas ( $> 47^{\circ}C$ ) y el viento seco (Chergui) durante la etapa de florecimiento (junio-julio) tuvieron efectos negativos en la fertilidad de las plantas.

Además de los factores de altas temperaturas y precocidad, la textura y la fertilidad de los suelos también tuvieron un impacto en el rendimiento. Comparadas con el rendimiento de Rabat (por ejemplo., G205-95DK = 1,114 T/Ha), los rendimientos de Khénifra fueron relativamente más altos (por ejemplo, G205-95DK = 1.64T/HA), lo

que sugiere que bajo condiciones adecuadas (una siembra temprana y temperaturas templadas), algunas accesiones tienen un potencial de alta productividad en el sitio de Khénifra.

En el 2001-2002, se aumentó la semilla para las cuatro mejores variedades (G205-95DK, Pandela, Utusaya and Sayana) y se evaluaron durante las siguientes dos temporadas de cosecha en IAV, Rabat, ITA Ben Khlil y en dos granjas en Agoudim.

En el 2004, las tres mejores variedades de quinua (G-205-DK, SAYANA and Pandela) fueron plantadas en parcelas de rendimiento en ITA (Khénifra). Todos los campos fueron sembrados en diciembre, aunque los cultivos no emergieron hasta febrero debido a la insuficiencia de lluvias a mediados de invierno. El cultivar G-205-95DK fue heterogéneo en muchas características, sobre todo para color y forma de la hoja. Se observaron infecciones virales menores en algunas plantas. Además, muchas



plantas tenían un fenotipo de hoja gruesa/enana que podría indicar una anomalía cromosómica o aneuploidía.

En el sitio de Agoudim (plantado por Omar Ghanem) la quinua pareció altamente heterogénea, con varias plantas exhibiendo un tallo de color rojizo (muy similar a la variedad Real de Achachino). El desarrollo de las plantas se parecía mucho a lo que uno puede observar en el Altiplano, con plantas bajas en saponina, las cuales fueron selectivamente despojadas de sus semillas por las hormigas. El campo se utilizó para seleccionar los genotipos deseables, tipos de cabeza compacta específicas y características de madurez precoz. Basado en los ensayos del 2004, diciembre parece ser un momento adecuado para la siembra a gran escala y la alta productividad de la quinua, especialmente en el faldeo del Atlas Medio (región de Khenifra).

En la temporada 2004-2005, hubo una sequía primaveral de tres meses y un frío extremo en enero (que llegó a -8 C) en el sitio de ITA Khénifra, lo cual no tuvo efecto en las plantas de quinua, puesto que presentaron daño mínimo por congelamiento (bajo un esquema de riego semanal). Se seleccionaron alrededor de 30 genotipos entre las +300 líneas plantadas en un ensayo de réplica. Los principales criterios de selección fueron grandes semillas blancas, uniformidad, madurez precoz intermedia, y el rendimiento. Casi todas las líneas de quinua tuvieron una buena formación de semillas, a pesar de las altas temperaturas (30°C) a finales de abril.

#### *Región Moulay Bouazza.*

En el 2006, 30 genotipos de quinua, seleccionados por su tolerancia a la sequía, frío y calor, fueron plantados en múltiples lugares y en múltiples fechas de siembra, reproduciendo el ensayo de rendimiento de Tnine Ait Boukhayou (Moulay Bouazza) y IAV Hassan II (Rabat). Los 30 genotipos exhibieron una buena adaptación y un rendimiento estable en la región del Atlas Medio. La información recolectada claramente demuestra que sembrar en febrero es más adecuado que sembrar en noviembre, en todos los sitios de experimentación.

Los genotipos probados se adaptaron bien a la altitud y en general tuvieron mejor rendimiento en Moulay Bouazza. Las accesiones se diferenciaron por sus características feno-agro-morfológicas. Las características que fueron influenciadas por

la fecha de siembra y el sitio de experimentación fueron: el tamaño de la planta, el número de nodos y la susceptibilidad a los patógenos. El tamaño de la planta y el número de nodos fueron más altos en Moulay Bouazza y cuando se sembraron en febrero. Los daños por enfermedades fueron más frecuentes en Rabat, debido a las condiciones de clima húmedo de este sitio costero. Los síntomas de enfermedad estuvieron prácticamente ausentes en Moulay Bouazza. Sin embargo, las 30 accesiones fueron susceptibles a insectos, especialmente áfidos, en ambos sitios.

La madurez también fue influenciada por la fecha de siembra y estuvo más sincronizada en los ensayos con fecha de siembra en febrero. Los ciclos de crecimiento fueron ligeramente más cortos en Moulay Bouazza. El rendimiento fue altamente variable en Rabat, debido a las enfermedades, las plagas y la depredación. Los rendimientos en Moulay Bouazza fueron más consistentes; los más altos rendimientos se produjeron en los cultivos sembrados en febrero.

Las características que no fueron influenciadas por la fecha de siembra o la localidad fueron el diámetro y peso de la semilla, el color de la semilla y el contenido de saponina de la semilla. Todos los genotipos tuvieron un mejor rendimiento en el ambiente de Moulay Bouazza. Las accesiones 112 y 143 ocuparon el primer lugar y presentaron el rendimiento más deseable para los criterios de selección primarios: es decir, precocidad, estatura baja, alto rendimiento, tolerancia al moho y al áfido, y calidad de la semilla.

#### **Experimentos realizados.**

##### *Wild Chenopodium en Marruecos.*

Marruecos es un centro de diversidad para especies de *Chenopodium*. En los campos de quinua del Alto Atlas, se identificaron tres especies silvestres de *Chenopodium* (*C. album*, *C. murale*, y *C. vulvaria*) que crecían como maleza y en abundancia. En el 2006, se realizó una recolección de especies de *Chenopodium* silvestre en varias regiones del país. Más de ocho especies fueron identificadas y recolectadas.

Entre la flora vascular de Marruecos, 26 géneros y 89 especies de *Chenopodeaceae* fueron encontradas, de las cuales 45 especies se indican

como escasas o muy escasas (Fennane e Ibn Tattou 1998; Fennane e Ibn Tattou 2005). Varias tienen importancia agronómica o terapéutica. En la Flora del Norte de África, se describen 14 especies de *Chenopodium*: *C. multifidum*, *C. ambrosioides*, *C. botrys*, *C. suffruticosum*, *C. capitatum*, *C. vulvaria*, *C. hybridum*, *C. wall*, *C. urbicum*, *C. glaucum*, *C. giganteum*, *C. serotinum*, *C. chenopodioides* y *C. album* (Mayor, 1962). El catálogo marroquí ha listado 9 especies en el género: *C. ambrosioides*, *C. vulvaria*, *C. wall*, *C. rubrum* (ssp *crassifolium*), *C. album*, *C. opulifolium*, *C. giganteum*, *C. multifidum*, y *C. virgatum* (Jahandiez 1932). En La Flora de Marruecos Interactiva, 10 especies son mencionadas: *C. album*, *C. ambrosioides*, *C. bonus henricus*, *C. chenopodioides*, *C. giganteum*, *C. multifidum*, *C. wall*, *C. opulifolium*, *C. suffruticosum* y *C. vulvaria* (Fennane et al. 1999).

Paralelamente al trabajo de adaptación y selección de la quinua, se llevó a cabo un proyecto de investigación de tesis de maestría acerca de las especies de *Chenopodium* recogidas en el IAV-Universidad de Rabat. El estudio se refería a los aspectos morfológicos y palinológicos de las especies de *Chenopodium* marroquí silvestres (El Rhzaoui 2006). Se estudiaron treinta y cinco poblaciones, las cuales incluyeron: *Chenopodium album*, *C. ambrosioides*, *C. opulifolium*, *C. multifidum*, *C. vulvaria*, *C. chenopodioides* y *C. giganteum*. Se realizó un análisis de características morfológicas en más de 200 muestras; el análisis de la información entregó una variabilidad significativa entre y dentro de las especies debido a los efectos genéticos y ambientales. El análisis de polen de 15 especies de *Chenopodium* recolectadas mostró que las especies estudiadas tienen un polen con forma similar, la cual es de esferoide oblato o breviano. Sin embargo, difieren en el número de poros; la densidad de poros del polen resultó ser un importante criterio taxonómico para clasificar las especies (2006 El Rhzaoui). El estudio citogenético preliminar reveló una variación en la ploidía entre las especies; Sin embargo, más investigaciones fueron recomendadas para el análisis del genoma para comprender la evolución del cariotipo *Chenopodium*. Se encontró que las especies de *Chenopodium* difieren predeciblemente en varias características. Para una mejor apreciación de la diversidad de *Chenopodium* silvestre, se recomendó

el uso de técnicas moleculares.

#### *Experimentos agrícolas.*

En el 2008-2009, las 20 mejores selecciones de quinua (13 de líneas seleccionadas y 7 de accesiones recién introducidas) se cultivaron bajo las condiciones de Rabat (Azouz, 2009). El rendimiento varió desde 1.2 t ha<sup>-1</sup> en el cultivar de tierras bajas 'BAER II' de Chile a 3.2 t ha<sup>-1</sup> en la variedad del altiplano 'ILLPA-INIA' de Puno Perú. El rendimiento promedio fue de 2,346 t ha<sup>-1</sup>, que fue marcadamente superior al rendimiento promedio de 1.4 t ha<sup>-1</sup> medido anteriormente en el sitio de Khénifra (Benlhabib et al. 2004). La diferencia entre los dos ensayos de rendimiento se atribuyó principalmente a un mejor manejo del cultivo. Una importante variabilidad se presentó entre las accesiones para una serie de características morfológicas y agronómicas: tamaño de planta, cantidad de nódulos, largo entre nodos, forma de la inflorescencia, daños por enfermedad, biomasa total y rendimiento de grano. Las accesiones S119B y S135 tuvieron un rendimiento mayor de 2,8T/ha<sup>-1</sup>.

En las temporadas del 2010-2011, cinco de las líneas avanzadas de quinua, seleccionadas por su nivel de adaptación al ambiente local, fueron evaluadas en los campos de los agricultores bajo condiciones semi-áridas de Bouchane. Las evaluaciones de rendimiento en los tres ensayos mostraron que la línea 142 tuvo el rendimiento más alto: produjo 1,52 ha<sup>-1</sup> de grano bajo riego y tuvo un rendimiento de 0,93 T ha<sup>-1</sup> en seco (Filali 2011). La línea 123 de la quinua presentó los rendimientos más bajos. El índice de cosecha más alto fue el de la variedad Danesa "Titicaca" de 0,46, lo que también representó el rendimiento de grano más alto por planta. Los ensayos de adaptación realizados en Bouchane bajo condiciones de seco, demostraron que las líneas de quinua tuvieron mejor rendimiento que las de Rabat. El experimento de las caracterizaciones morfo-fenológicas demostró que la etapa de florecimiento se alcanza entre los 40 a 50 días y la madurez fisiológica toma entre 70 y 105 días.

#### *Investigación de labranza.*

Durante el segundo período (2008-2012) de la introducción de la quinua a las regiones semiáridas y áridas del Bouchane y CHA Agadir, la mayoría de las investigaciones se relacionaron con la fisiología del estrés, la agronomía, la evaluación genética

y la caracterización de la quinua. A pesar de los persistentes esfuerzos para seleccionar las líneas de quinua adaptadas a las condiciones de suelo y clima de Marruecos, uno de los principales problemas es con el establecimiento de las plantas del cultivo. En la actualidad, los agricultores están utilizando diferentes sistemas de labranza que están disponibles en las granjas, tales como la grada de discos en los cultivos de cobertura. La siembra a mano se utiliza generalmente sin una recomendación específica de la tasa de siembra.

Una investigación realizada en el 2011 en la Estación de Experimentos INRA en Koudia (al sureste de Rabat) comparó los tres sistemas de labranza en suelo arenoso-limoso: de una sola pasada usando un cultivador de púas seguido por un rodillo; una pasada utilizando una grada de discos; y la labranza cero o siembra directa (Oussible et al. 2012). El objetivo principal era desarrollar una estrategia automatizada para el manejo del cultivo de quinua. Los parámetros físicos de suelo medidos, el tamaño del crecimiento de la raíz y otros parámetros relacionados con el crecimiento y el rendimiento enfatizaron las ventajas del sistema de siembra directa. De hecho, comparada con otros sistemas de labranza, el sistema de siembra directa obtuvo la mayor población de plantas al momento de la cosecha (55208 plantas/ha), el mayor rendimiento de grano ( $0,64 \text{ T/ha}^{-1}$ ) y el mayor índice de cosecha.

#### *Estudios fisiológicos y anatómicos realizados.*

En otro estudio realizado en la Universidad de Cadi Ayad de Marrakech, se examinaron las actividades de las enzimas antioxidantes en las hojas de quinua, puesto que previamente se había informado que las variaciones en la disponibilidad de agua y fertilización generaron reacciones biomecánicas en las células de las plantas. El estrés causado por estos factores se asoció con la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), que causan daño oxidativo. Para estudiar las reacciones bioquímicas del estrés hídrico y la fertilización orgánica, se probaron cuatro regímenes de riego (evapotranspiración (ETc) al 100, 50 y 33% y uno de secano) y abono. Luego de la etapa de florecimiento, se midió la cantidad de superóxido dismutasa (SOD), polifenoloxidasas (PPO), peroxidasa (POD) y catalasa (CAT) en las hojas de quinua. Los resultados señalaron que las enzimas antioxidantes juegan un rol muy importante reduciendo el efecto oxidativo

en la quinua que ha sido expuesta al estrés hídrico (Fghire et al. 2012). En los tratamientos de secano, la actividad de SOD aumentó significativamente. La actividad de CAT, POD Y PPO también aumentaron significativamente en un 87,4%, 72,8% y 520,35% en los tratamientos de secano cuando se comparan con el de evapotranspiración de 100%. El abono casi neutralizó el efecto de la sequía excepto en los tratamientos de secano. La actividad PPO mostró un aumento en los ensayos fertilizados y no fertilizados en un 190,16% y 253,28%, respectivamente, en evapotranspiración de 50%; por 462,67% y 229,14% respectivamente en evapotranspiración de 33%,; y por 520,35% y 106,16%, respectivamente en los tratamientos de secano (Fghire et al. 2012).

En el 2012, se realizó otro estudio donde se evaluó la variación en la densidad del estoma entre las accesiones y su correlación con la tolerancia a la sequía. Esto se realizó en IAV-Rabat. Se seleccionaron 52 accesiones por su adaptación y se utilizaron en un análisis de comparación con dos especies silvestres y nativas (*Chenopodium album* and *C. murale*) y con dos variedades danesas adaptadas al ambiente marroquí ('Puno' y 'Titicaca'). Los resultados revelaron una variación en la densidad del estoma en relación al genotipo y a la posición de la hoja en el tallo principal. La densidad del estoma varió desde 140 a 544 estomas por  $\text{mm}^2$ . La selección W142/2 tuvo la densidad más alta de estomas. La densidad de estomata disminuyó desde la hoja del ápice a la hoja de la base. La densidad estomatal de la variedad danesa "Puno" disminuyó fuertemente desde la hoja del ápice basipetalmente, de 529 a 272 estomas por  $\text{mm}^2$ . El cultivar "Sayana" y la selección Wafa6 presentaron la menor densidad de estomas en las hojas apicales. 310 and 246 estomas/ $\text{mm}^2$ , respectivamente. En la selección W142/2, la densidad de los estomas disminuyó de manera constante desde la hoja apical a la hoja basal, desde 627 a 176 estomas per  $\text{mm}^2$  (Thabit 2012).

#### *Riego, salinidad y experimentos de aguas tratadas.*

Entre los años 2010-2012, se realizaron varios experimentos en condiciones de campo y de maceta en IAV-CHA, Agadir para poder evaluar los efectos de la sal; preparación para sequía y riego deficitario utilizando aguas residuales tratadas; y también el impacto de las enmiendas orgánicas sobre el crecimiento de la quinua y la productividad.

Los resultados indicaron que el crecimiento de las plántulas de quinua disminuyó con el aumento de la salinidad. En niveles de salinidad de hasta 10 dS/m el rendimiento de grano se mantuvo estable, pero los rendimientos disminuyeron en un 34% a 30dS/m comparados con el grupo de control (Hirich *et al.* 2013a). En el experimento de riego deficitario, el más alto rendimiento de grano y productividad de agua se obtuvo cuando se aplicó un 50% de riego deficitario en la etapa de crecimiento vegetativo (Hirich *et al.* 2012a). Hubo una variación significativa entre las accesiones en términos de rendimiento de grano. El riego deficitario durante la etapa de crecimiento vegetativo conservó 20% del suministro de agua (690 m<sup>3</sup>/ha) comparado con el grupo de control (Hirich *et al.* 2012c). Hirich *et al.* (2013b) también demostraron que la enmienda

orgánica mejoró significativamente el rendimiento de grano y la biomasa total bajo condiciones de riego deficitario. Los experimentos de IAV-CHA en Agadir también demostraron que la quinua ayuda a la lixiviación de los suelos, ya que la acumulación de la sal en los suelos fue reducida de manera significativa cuando la quinua fue regada con aguas residuales tratadas.

En los ensayos de los agricultores llevados a cabo en la comunidad de Bouchane, el rendimiento de la quinua variaba según la relación entre el modo de riego y el nivel de habilidad del gerente de la granja. El agua fue el principal factor limitante; el rendimiento aumentó en tres a cuatro veces cuando se utilizó riego. La fertilización con nitrógeno tuvo un efecto menor en el rendimiento de los cultivos en condiciones de secano (Cuadro 3).

**Cuadro 3:** Fluctuación del rendimiento en relación al método de riego y las habilidades del administrador de la granja

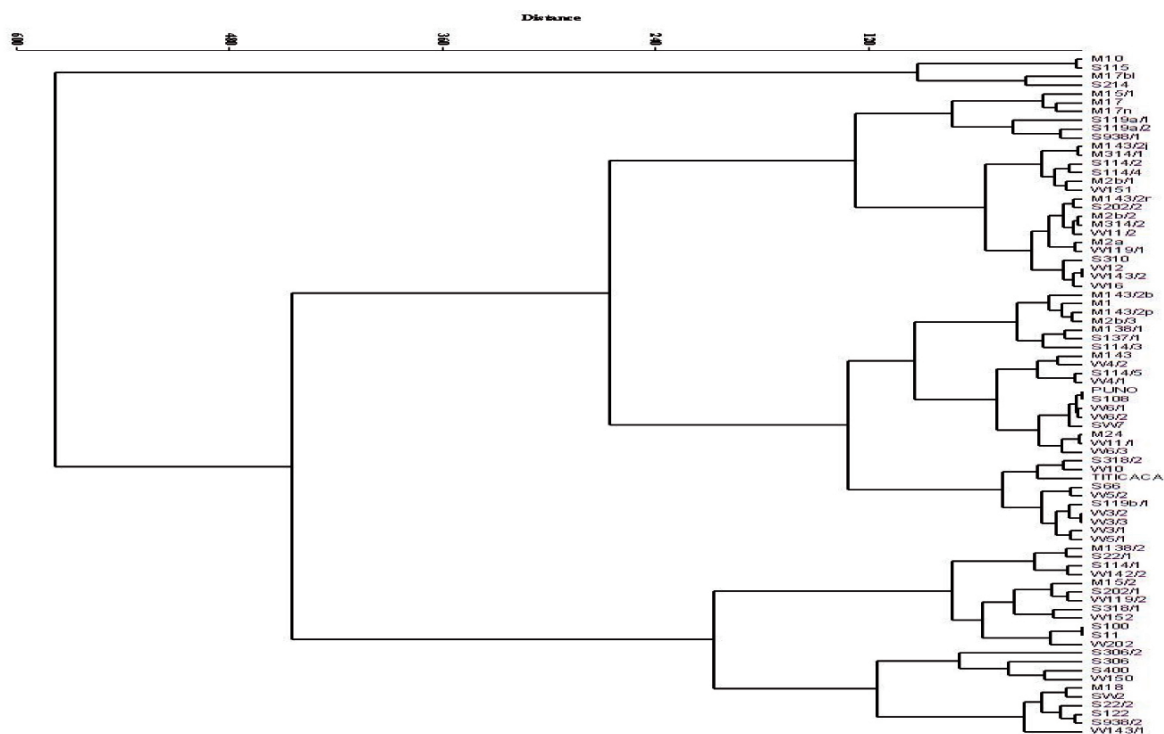
Nombre de los agricultores	Habilidad administración de del agricultor	Método de riego	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>
Abbad Driss	Eficiente	riego superficial	3,450
Wafi Mohamed	Bastante eficiente	riego superficial	2,670
Khilani Mohamed	Eficiente	riego superficial	3,000
Jabrane Ahmed	Convencional	Secano	0,890

#### *Caracterización genética y molecular.*

Del germoplasma desarrollado a través de la selección recurrente y pedigrí, 78 accesiones fueron seleccionadas sobre la base de tolerancia a la sequía y adaptación al medio ambiente costero, y fueron evaluadas en el IAV Hassan II, Rabat (Figura 3). Se utilizaron 23 características cualitativas y cuantitativas para evaluar la diversidad genética y la relación entre las accesiones. Se observaron correlaciones positivas entre el rendimiento y la altura de las plantas y el peso seco y fresco; sin embargo, la cantidad de días hasta el florecimiento

se correlacionó negativamente con el rendimiento de grano. Las primeras cuatro correlaciones positivas contribuyeron a un 74,76% de la variación total; el tamaño de la planta, los días para el llenado del grano y los días para la maduración se correlacionaron con PC1 mientras que el tamaño de la semilla, la densidad de la inflorescencia y la resistencia al moho se correlacionaron con PC2. Un análisis de conglomerados jerarquizado agrupó a las 78 accesiones de quinua en cuatro grupos principales (Manal *et al.* 2013a).





**Figura 3:** Dendrograma basado en las características morfológicas y agronómicas usando UPGMA.

Se sometieron a la técnica de análisis de polimorfismo nucleótido único (SNP) a las 94 accesiones de quinua, incluyendo las 78 accesiones evaluadas más arriba; dicho análisis se realizó en el departamento molecular de Ciencias de Flora y Fauna, BYU, Provo, Utah. Un set de 96 SNPs se utilizó para analizar los distintos patrones de diversidad genética. Las 94 accesiones fueron divididas en dos grupos principales basados en su madurez y en un análisis de estructura; 88,01% de la variación genética fue explicada por la variación dentro del sub-grupo. El grupo con un nivel de heterocigosidad más alto se encontró dentro del subgrupo de madurez media ( $H_e = 0,456$ ). El valor de índice de fijación ( $IF = 0,15$ ) destacó una importante diversificación en las dos poblaciones principales. El análisis de conglomerado y PCA dividió todas las accesiones de quinua en dos grupos discretos. El análisis molecular proporcionó un nuevo conjunto de marcadores genéticos en la quinua que son fáciles de usar y altamente informativos y que

ayudaron a identificar un conjunto diversificado de germoplasma para mejorar el programa de fitomejoramiento (Manal et al. 2013b).

En este momento, 100 de las líneas de quinua han sido caracterizadas y evaluadas; las 45 que se demostraron ser adaptadas, productivas y genéticamente estables y homogéneas serán sometidas a un aumento de semillas y ensayos de rendimiento en 2-3 localidades. A partir del próximo año, se iniciará una actividad de cruce entre las líneas seleccionadas para desarrollar genotipos superiores. Desde hace dos años, el programa de quinua ha estado evaluando la posibilidad de desarrollar una hoja de información técnica para promover el cultivo de la quinua a gran escala y planificar todas las tareas de cultivo.

### **Estado actual y perspectivas de la diseminación del cultivo.**

#### *Diseminación del cultivo.*

En Marruecos, la producción de quinua y la demanda del consumidor aun son limitadas y

están recién emergiendo. Se necesitan esfuerzos constantes de promoción del producto y de educación a los consumidores acerca del valor nutritivo de la quinua y beneficio comercial. El cultivo de la quinua ha sido introducido en varias regiones a través del programa IAV-Hassan II y sus proyectos colaborativos. Las semillas de quinua han sido distribuidas a los agricultores y asociaciones rurales en distintas regiones. Al mismo tiempo, se les informó a los agricultores acerca del manejo del cultivo.

Durante el proyecto IAV-BYU (2000-2006), se distribuyeron semillas de quinua en distintas localidades de la región de Khénifra, Ait Ishak, Ouaoumama, Kerouchen y Boumia. También se realizaron ensayos de quinua en el Alto Atlas a lo largo de tres años (2002-2004) a una elevación de 2016 metros en el pueblo de Ait Lekkak, Oukaimeden y en el pueblo Tizi Oushen, Siti Fatma entre el 2002 y el 2007. Ahí, los agricultores locales tuvieron una experiencia positiva, puesto que el crecimiento de la quinua y su rendimiento fueron importantes. En el 2006, la quinua se introdujo en la región de Moulay Bouazza, donde la adaptación de un genotipo y el ensayo de evaluación fueron realizados en una granja privada en Tnine Ait Boukhayou.

En el 2007, se organizó en Rabat un taller donde participaron quince jóvenes agricultores de las asociaciones de agricultores orgánicos de Shoul y Sidi Slimane. El principal objetivo era aumentar la conciencia acerca del valor nutritivo de la quinua y el manejo del cultivo. Las semillas se distribuyeron a los participantes para que empezaran su cultivo de quinua. También se organizaron visitas posteriores para hacer un seguimiento del cultivo durante su crecimiento en varias granjas.

Con el proyecto SWUP-Med, las semillas de quinua se diseminaron ampliamente en las regiones de Rhamna, Marrakech y Agadir. También se incluyó a los agricultores que cultivan quinua de los siguientes lugares: Bouchane, Sidi Bouathmane, el pueblo Itlil en Jbilat, Skoura, Jemâat Shim (Safi), Berchid y Dar Bouazza (Terre Humanisme Maroc, Casablanca), y Massa (Agadir). En el 2011, la quinua fue probada bajo riego en el pueblo de Itlil de Jbilat, al norte de Marrakech (31.894548 N, -8.030889 O); el desarrollo de la planta y su

rendimiento fueron muy atractivos para los agricultores locales ya que sus suelos y clima son muy limitantes para la producción de cultivos. En el pueblo de Skoura, en el centro “Carrefour des Initiatives et des Pratiques Agroécologiques” (CIPA), se cultivó la quinua para identificar la fecha óptima de siembra (octubre 2011 - marzo 2012) y para promocionar la producción del cultivo a los agricultores locales y a visitas.

El cultivo de quinua se ha expandido en el 2012 al lado sur de las montañas del Alto Atlas (por el lado del Sahara) a través de un intercambio informal de semillas con un voluntario del Peace Corps quien introdujo las semillas a Iknouen (lat. 31.1736495, long. -5,6734057, alt. 1912m), una comunidad rural en la región de Ouarzazate, y a Baknou (lat. 32.23333, long. -3,93333, alt. 1196m) en la región de Errachidia. Se ha desarrollado una tabla de crecimiento con indicaciones ilustradas para las familias, en los dialectos locales de árabe y tamazight (berber).

Muchos agricultores comenzaron a cultivar la quinua como un cultivo comercial en las regiones de Casablanca, Marrakech y Settat. Durante la época de cosecha del 2013, un grupo de restauración nacional llamado Rahal comenzó un cultivo de quinua en una parcela de cuatro hectáreas en Bouskoura, cerca de Casablanca. Dependiendo de la producción y del retorno financiero, puede que el grupo busque aumentar el tamaño del proyecto y extender el cultivo a otras regiones.

A través de la colaboración con el programa IAV y la Asociación de Moullablad, dos ensayos de quinua se han instalado bajo condiciones de secano en Ain Sbit, a unos 80km de Rabat. Estos experimentos apuntaban a investigar la mecanización del cultivo, el efecto del nitrógeno en el rendimiento y la producción de semilla. El objetivo principal es producir una hoja de información acerca de la quinua y promocionar su cultivo a gran escala. Los primeros resultados fueron alentadores, puesto que se mejoró la administración de la instalación del cultivo, el trillado de los granos y la producción de la semilla (Fotos 4, 5 y 6).



**Foto 4:** Campo de quinua en la granja de Karim Moullablad, mayo 2013



**Foto 5:** Producción de quinua en la granja de Karim Moullablad, junio 2013



**Foto 6:** Máquina para trillar los granos de quinua

### **Iniciativas para promover el cultivo.**

Desde su introducción en Marruecos en el 2000, la quinua ha sido el centro de varios intentos de promoción mediante talleres anuales dirigidos a agricultores, talleres gastronómicos para mujeres, y exhibiciones nacionales, regionales y locales.

#### *Talleres de Extensión acerca de la quinua.*

Desde su introducción en Marruecos, la quinua se ha presentado en diversos talleres organizados por el equipo de la quinua de IAV; los participantes de estos talleres fueron agentes de extensión agrícola, técnicos, miembros de asociaciones y agricultores. Se presentó un video y una serie de diapositivas mostrando la cosecha, condicionamiento, comercialización y consumo de la quinua. Se distribuyeron folletos, hojas de información y libretos de recetas a los participantes.

En mayo del 2006, se realizó un taller acerca de las prácticas de cosecha de la quinua en ITA Ben Khil; este taller estaba dirigido a los agricultores, a la 'Direction Provinciale d'Agriculture' (DPA), a los técnicos del 'Centre de travaux' (CT) y a los empleados de ITA Ben Khilil. Se presentó un video ilustrativo mostrando la cosecha, condicionamiento, comercialización y consumo de la quinua. Se distribuyeron folletos, hojas de información y libretos de recetas a los participantes. Se charló acerca de los ensayos experimentales y los criterios de selección.

#### *Talleres gastronómicos.*

Durante los 13 años desde que se introdujo la quinua en Marruecos, se han organizado varias otras actividades para promover el cultivo y su manejo, así como también promover la conciencia de su valor nutritivo y su beneficio financiero. En el otoño del 2004, se realizó un taller de tres días de duración acerca de cómo cocinar la quinua adaptando recetas locales. Este taller se realizó en la Asociación de Mujeres en Tighassline, Khénifra. En el último día del taller, se realizó una presentación donde las visitas pudieron apreciar y saborear las distintas comidas preparadas con quinua.

#### *Exhibiciones de quinua.*

La quinua se exhibió por primera vez en el Foro Internacional de Agricultura de Meknes en abril del 2006. Fue presentada como una contribución del

esfuerzo colaborativo entre IAV-Hassan II, el ITA Ben Khili y los productores de la región de Khénifra. Se exhibió en el 2011 y el 2012 a través del proyecto SWUP-Med bajo el pabellón regional de Rhamna realizado por la Asociación de Bouchane, un socio del proyecto SWUP-Med.

En el 2011, la quinua comenzó a ser exhibida en las tiendas de productos orgánicos y en los hipermercados por 50-80 DH por kilo. Las asociaciones de celíacos en Rabat y Marrakech han importado quinua desde hace algunos años y son unos potenciales futuros clientes. Debido a la alta calidad de la comida, su saborpreciado y sus múltiples usos, la quinua se apoderará rápidamente del mercado nacional. Un programa de selección de quinua y colaboraciones internacionales están ayudando a resolver limitantes específicas, tales como el estrés biótico y abiótico, calidad de la semilla, productividad, rendimiento y la adaptación al ambiente local.

#### **Usos y Mercados:**

A pesar que la meta del proyecto Khénifra era que la gente autóctona adoptara a la quinua como un alimento alto en proteínas, su consumo a escala local y nacional aún es mínimo y se requiere de un esfuerzo constante de concientización. La producción de la quinua como un cultivo de exportación de alto rendimiento económico constituye un resultado que es muy atractivo para los productores.

En el 2004, un agricultor del pueblo de Agoudim en la región de Khénifra ha producido más de 150 kgs de grano de quinua y le vendió casi 80 kgs a un pariente viviendo en Canadá. La primera venta de comunidad se completó en el 2004 con la Asociación Maghreb-Bio en Marrakech, una organización que se especializa en los productos orgánicos y que ha importado quinua en el pasado. Desde el 2011 la Asociación Local de Bouchane ha estado produciendo quinua y ha vendido el cultivo ya cosechado a 60-80 DH por kilo y a un precio de exportación de 12 Euro/kg. La producción local de la quinua aún es limitada y desordenada; se necesita de un mayor esfuerzo, sobre todo en publicidad tanto para agricultores como para consumidores.

Una tienda de productos orgánicos que vende quinua, ubicada en Casablanca, ha informado que sus clientes son apasionados por ella y que

la demanda por ella ha aumentado durante los últimos tres años. El producto actualmente se importa desde Perú y Bolivia en paquetes de 400 gramos y se vende al por menor a 35 DH el paquete.

El Grupo Rahal organizó CREMAI--Exhibición Internacional para Profesionales de Hoteles, Restaurantes y Panaderías -- con 185 participantes en Casablanca, en marzo 2013. Esta exhibición tuvo un 23% de aumento en la participación comparada con el año anterior. Durante cuatro días, las reuniones profesionales trataron temas culinarios y de hotelería. Uno de los temas centrales fue el relativo a los aspectos culinarios de la quinua. El director del Grupo Rahal también hizo una presentación titulada "Quinua: Una Nueva Tendencia en los Negocios Culinarios".

Actualmente, la quinua es un producto estrella, en esencia, en todos los continentes. Dentro de la estrategia nacional para el desarrollo agrícola llamada "Plan Maroc Vert", el cual se inició en el 2008, la región de Marrakech-Tensift-Al Haouz definió su principal objetivo-- avanzar la agricultura local apoyando el desarrollo de productos especiales, a través de ayuda cooperativa, así como su producción y marketing. La oficina regional del Ministerio de Agricultura recientemente definió los cultivos objetivos para la región, incluyendo hinojo, comino, iris ornamental, la uva Chiadma, gumbo Aloudiane (okra), y el nuevo cultivo quinua que fue introducido en 2009 a través del proyecto SWUP-Med y ha demostrado su adaptación al clima y los suelos de la región

#### **Perspectivas del futuro.**

Las principales limitaciones relacionadas con o que afecten a la producción de quinua incluyen: fecha óptima de siembra, el establecimiento del cultivo, las necesidades de nutrientes, la sensibilidad a las altas temperaturas, control de malezas, la facilidad de extracción de saponina, la estrategia de marketing del producto, y el conocimiento de los agricultores, el Ministerio de Agricultura y otros funcionarios de los servicios gubernamentales.

En Bouchane, la asociación local que fue el principal socio del Proyecto SWUP-Med, escogió a la quinua como el cultivo especial que va a desarrollar en su región. Los costos de producción y el rendimiento de la quinua son aun impredecibles; aun falta por



desarrollar el manejo de las técnicas de cultivo y las semillas certificadas para el cultivo.

En la conferencia realizada entre el 10-15 de marzo 2013 en Agadir, titulada «Uso sustentable del agua para asegurar la inocuidad alimentaria en la región mediterránea bajo el cambio climático», los participantes recomendaron enfáticamente el establecimiento de una red internacional de quinua para promover su producción en la cuenca mediterránea, ya que es un cultivo valioso para la seguridad alimentaria y por sus méritos nutricionales.

Con los efectos inminentes del cambio climático global, la quinua representa un cultivo de gran valor para la seguridad alimentaria debido a su adaptación a una variedad de diferentes estreses ambientales (sequía, la sal, alta temperatura, y resistencia a las enfermedades). Es muy recomendable en suelos marginales y puede ser cultivada en una variedad de condiciones ambientales que la mayoría de los otros cultivos no pueden tolerar. Por ejemplo, la quinua es potencialmente productiva con irrigación de agua de mar y además puede ser utilizada para la recuperación de suelos contaminados mediante la extracción de sal.

El establecimiento de una red internacional de quinua, seguro promoverá el cultivo en la cuenca mediterránea, a través del intercambio de información científica entre diversas organizaciones de investigación, así como la organización de cursos de formación sobre la gestión del cultivo dirigidos a los agricultores y técnicos de cultivos, y la sensibilización de consumidores de las virtudes nutricionales de la quinua.

#### Referencias:

- Azouz Y (2009). Analyse des systèmes de culture dans deux régions la CR de Bouchane (Rhamna) et la CR de Mnabha (Préfecture de Marrakech) : Le Quinoa comme culture alternative à introduire. *Mémoire de 3ème cycle d'Ingénieur d'état en Agronomie*, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Marruecos, 88pp.
- Benlhabib O, Atifi M, Jellen EN et Jacobsen SE (2004). The introduction of a new peruvian crop « Quinoa » to a rural community in Morocco. VIII European Society of Agronomy Congress: Book of Proceeding, KVL, Copenhagen, Dinamarca, pp 881-882.
- Benlhabib O (2006). Les cultures alternatives : Quinoa, Amarante et Epeautre. *Bulletin de transfert de technologies en Agriculture*, n°133, Sept. 2006.
- Casson S, Gray JE (2008). Influence of environmental factors on stomatal development. *New Phytologist*-volume 178: 9-23.
- El Rhzaoui G (2006). Contribution à l'étude biosystématique du Genre *Chenopodium*. *Mémoire de DESA, Biodiversity et Biosystématique*, University of Mohamed V, Rabat.
- Fghire R, Issa Ali O, Anaya F, Benlhabib O, Jacobsen SE & S Wahbi (2013). Protective Antioxidant Enzyme Activities are Affected by Drought in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, vol.3, No.4, 62-68.
- Filali K (2011). Caractérisation et évaluation du rendement de lignées de quinoa (*Chenopodium quinoa*) dans la région de Rhamna. *Mémoire pour l'obtention de Diplôme de Master en Biotechnologies et Amélioration Génétique*, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Marruecos, 82pp.
- Hirich A, Choukr-allah R, Jacobsen S-E, El Youssfi L & H El Omari (2012)b. Using deficit irrigation with treated wastewater in the production of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Morocco. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (3): Aceptado para publicación.
- Hirich A, Choukr-Allah R, Jacobsen S-E, El Youssfi L, H El Omari (2013)b. The combined effect of deficit irrigation by treated wastewater and organic amendment on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) productivity. *Desalination and Water Treatment*. Aceptado para publicación.
- Hirich A, Choukr-Allah R, Jacobsen S-E, El Youssfi L, H El Omari (2013)b. The combined effect of deficit irrigation by treated wastewater and organic amendment on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) productivity. *Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen (WATMED6)*, 10-12 Oct 2012, Sousse, Túnez.

Hirich A, El Omari H, Jacobsen S.-E, Lamaddalena N, Hamdy A, Jelloul A & R Choukr-Allah (2013)a. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) responses to irrigation water salinity. International Conference on Agricultural Engineering "New Technologies for Sustainable Agricultural Production and Food Security. Sultan Qaboos University, Omán, 24-26.

Izquierdo J, Mujica A, Marathee JP & S.-E. Jacobsen (2003). Horizontal, technical cooperation in research on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19: 25-29.

Lahouir N (2007). Essais d'adaptation, de caractérisation et de sélection des lignées de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Mémoire de 3ème cycle pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Marruecos, 80 pp.

Mhada M, Benlhabib O, Jimenez FR, Arano IA, Andrews DE, Maughan PJ y EN Jellen (2013) b. Population structure and genetic diversity in quinoa assessed with SNP markers. Molecular screening and diversity of quinoa. *Procedimientos de la conferencia internacional del Proyecto SWUP-MED: "Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate"*. Agadir, Marruecos, p. 237-243.

Mhada M, Jacobsen SE, Jellen EN y O Benlhabib, (2013)a. Diversity Analysis of Quinoa Germplasm Growing Under Moroccan Conditions. *Procedimientos de la conferencia internacional del Proyecto SWUP-MED: "Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate"*. Agadir, Marruecos, p. 237-243.

Oussible M, Baamal L, Yousfi Y, Belcaid M y O Benlhabib (2013). The effect of different soil tillage systems on the stand establishment and grain yield of quinoa crop in Morocco. *Abstractos de la conferencia: "Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate"*. Agadir, Marruecos, p. 58.

Thabit Y (2012). Contribution au programme de sélection de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Diversité de la densité stomatique et test préliminaire d'évaluation de tolérance à *Peronospora farinosa*

(Mildiou), *Techniques de laboratoire appliquées en biologie. Mémoire de Licence professionnelle*, Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, Kénitra, Marruecos, 36 pp.

## CAPÍTULO: 6.16

## TÍTULO: GRECIA

\*Autor para correspondencia: Christos NOULAS, <[cnoulas@ath.forthnet.gr](mailto:cnoulas@ath.forthnet.gr)>

## Autores:

CHRISTOS NOULAS<sup>a</sup>, THEODORE KARYOTIS<sup>a</sup>, CONSTANTINOS ILIADIS<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Ministerio Helénico para el Desarrollo Rural y de Alimentos, Organización Helénica Agrícola “Demeter”. Fundación Nacional de Investigación Agrícola (N.AG.RE.F.), Instituto para Mapeo y Clasificación de Suelos. Dirección: 1, Theophrastos Str., 41335 Larisa, Grecia.

## Resumen

En el sur de Europa, Grecia fue el primer país que, desde 1995, estuvo involucrado en el análisis americano y europeo de la quinua organizado por la Organización de Alimento y Agricultura y el Proyecto Quinua CIP–DANIDA. Grecia tiene una amplia variedad de zonas ecológicas, desde áreas con colinas y montañas con humedad y bajas temperaturas promedio hasta áreas costales y planas con temperaturas altas y secas. La quinua parece estar bien adaptada a las altitudes de 500 a 1000 m y desde 500 a 1300 s. n. m. Los resultados preliminares de ensayos de campo en Grecia central, la planicie agrícola más grande de Grecia, demuestran que la quinua es agrónomicamente viable. Con la introducción de la tecnología adecuada, sería posible aumentar el rendimiento y expandir el cultivo de quinua en suelos inadecuados para la agricultura. La quinua se puede adaptar bien a la mayoría de los tipos de suelos (*Entisols*, *Inceptisols*, *Alfisols*) y a los suelos de textura desde arenosa-limosa a limosa-arenosa.

Los principales experimentos demostraron que la sequía, la baja humedad relativa, temperaturas sobre 32°C y días largos (durante la antesis) son poco favorables para la producción de la semilla de quinua. La formación de costras y el secado de la superficie del suelo tuvieron un efecto negativo en la proporción de plántulas emergidas. La mejor densidad para la siembra se considera que es de 25 plantas por m<sup>2</sup>. La siembra temprana en marzo era más adecuada

para la producción de quinua mientras que una siembra tardía era poco adecuada y resultó en una germinación pobre.

Los ensayos subsiguientes demostraron que bajo condiciones secas, sólo 8 de cada 25 variedades provenientes de América Latina y Europa produjeron semillas. Estas variedades fueron evaluadas por su potencial de rendimiento y la composición de su semilla bajo propiedades de suelos contrastantes (neutral vs salino–sódico). El rendimiento de la semilla en suelo salino–sódico disminuyó hasta 45%. El contenido mineral y protéico (15–18.5%) en las semillas de quinua fue más alto en los cultivos de América Latina. Los esfuerzos de fitomejoramiento de las plantas que sobrevivieron en suelos salino–sódicos usando procedimientos de selección masiva para la creación de nuevas variedades fueron descontinuados debido a la falta de apoyo económico. Ensayos posteriores de la quinua sobre el control de malezas, potencial de rendimiento, fertilización orgánica, prácticas de cultivo y potencial alelopático del cultivo fueron realizados en el norte, centro y centro-sur de Grecia. Se concluyó que los ingredientes activos de los herbicidas examinados no eran selectivos para la maleza de hoja ancha y no pueden ser utilizados de manera segura en el cultivo de la quinua. Hasta este momento, no hay herbicidas aprobados para usar en la quinua en Grecia. No se encontraron diferencias importantes en la aplicación de varios fertilizantes orgánicos (compost de algas marinas y humus) en las

propiedades morfológicas de la planta de quinua y en el rendimiento.

Una labranza mínima (LM) fue ventajosa cuando se comparó con la labranza convencional (LC) para estas características. No se encontraron diferencias importantes en el porcentaje de contenido de saponina entre LM y LC. La cuantificación de la actividad alelopática de los extractos de la planta de quinua demostró que todas las especies puestas a prueba (avena, frijol común, lenteja de agua) presentaron una mayor respuesta fitotóxica por las inflorescencias de la quinua.

Las consideraciones para la expansión de la quinua en Grecia están relacionadas con planes de procesamiento limitados y la ausencia de potencial de fabricación, el conocimiento limitado de los agricultores, el pequeño tamaño promedio de las parcelas de tierra, la distancia de los mercados europeos y la ausencia de incentivos. Las autoridades de investigación relacionadas con la agricultura deben estar orientadas a promover la investigación aplicada en la quinua (por ejemplo, manejo de riego, planes de fertilización, etc), evaluación del germoplasma en diferentes zonas agro-ecológicas, y programas de mejoras genéticas para poder alcanzar la expansión del cultivo.

#### **Tendencias en la producción de cultivos en Grecia dentro del contexto europeo. Nuevas alternativas y cultivos prometedores.**

La agricultura griega está directamente influenciada por las Políticas Comunes de Agricultura Europea (CAP) y los objetivos principales se centran en (i) Proteger y garantizar la seguridad alimentario europea a largo plazo, (ii) la contribución a la creciente demanda mundial de alimentos, que la FAO espera que aumente en un 70% a 2050, (iii) el apoyo a las comunidades agrícolas que proveen alimentos sustentablemente producidos y (iv) mantención de comunidades rurales viables (EC 2010). En los últimos años, la agricultura griega como parte integral del sector agrícola europeo ha sufrido las consecuencias de la crisis económica, manifestada principalmente por una disminución del comercio, reduciendo la demanda y los recursos disponibles para su apoyo y desarrollo. Además, Grecia ha tenido

que enfrentar el impacto del cambio climático, el cual ha aumentado la frecuencia y severidad de las condiciones climáticas extremas, lo cual afecta el potencial rendimiento de los cultivos (EC, 2009). La degradación de la calidad del suelo y la pérdida de la biodiversidad vegetal afecta directamente las prácticas agrícolas intensivas y convencionales (FAO 1998; Lal 2009).

El interés por nuevos cultivos ha aumentado en Europa durante las últimas décadas. Algunos de éstos son cultivados de manera limitada, mientras que otros son cultivados bajo las condiciones de implementación de proyectos de demostración.

Grecia consiste de ciertas planicies fértiles, pero su terreno es principalmente accidentada o montañosa. En general, la mayor parte de las planicies se caracterizan por condiciones climáticas secas, especialmente durante los períodos de irrigación, con insuficientes recursos hídricos y tenencias de pequeño tamaño. Particularmente en Grecia, antes de que comenzara la recesión económica, el sector agrícola notó una marcada disminución en los ingresos de las granjas. Esto fue particularmente pronunciado en 2008 (aproximadamente 11%). Sin embargo, el sector agrícola es un alimentador clave de una gama de productos y servicios de especial importancia para la industria alimenticia.

Grecia es un país agrícola y la parte empleada de la población civil (%) que trabaja en el sector agrícola, forestal y de la caza y la pesca) es de 11,6% (EC 2012).

La importancia de la agricultura para la economía griega, así como para casi todos los miembros de los Estados de la Unión Europea, ha seguido un descenso continuo. Esto está claramente demostrado por la tendencia a la baja en la tasa de participación de los productos agrícolas (de la agricultura, la silvicultura, la caza y la pesca) en el total del Producto Interno Bruto de la economía griega en el periodo 2001-2011 (de un 5,9% en 2001 a un 2,5% en 2011) (EC 2012).

Las condiciones edafoclimáticas favorecen la producción de una amplia gama de productos de alta calidad. Tradicionalmente, y durante las últimas décadas, la agricultura griega se ha



basado básicamente en productos tales como algodón, cereales, aceitunas y aceite de oliva, frutas frescas y uvas. Además, Grecia posee una ventaja competitiva en la producción de frutas en vez de verduras, aunque ciertas frutas y verduras son dinámicas y son exportadas principalmente a países europeos (uvas, espárragos, duraznos enlatados y tomates procesados). Hay mucho debate en Grecia, considerando que muchos nuevos potenciales cultivos están siendo introducidos en Europa, explorando la necesidad de re-idear una nueva y más efectiva planificación territorial.

Es importante para la agricultura griega explorar las distintas posibilidades de cultivar antiguos cultivos hoy abandonados (como algunas especies de legumbres) e introducir nuevos cultivos a los agricultores griegos, luego de experimentar sobre su adaptación. Algunos de estos nuevos cultivos incluyen estevia (*Stevia rebaudiana*) sustituyéndolo al tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), el cual fue bastante cultivado en varias partes de Grecia; arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), espinillo de mar (*Hippophae rhamnoides*), baya de Goji (*Lycium barbarum*) etc.

Otro cultivo de especial interés es la quinua que ha sido puesta a prueba desde 1995, principalmente en Grecia central. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo muy interesante debido al valor nutritivo de su semilla y a su uso industrial en muchos sectores (por ejemplo, en la producción de papel). En 1996, la quinua fue clasificada como uno de los cultivos más prometedores para la humanidad y las Naciones Unidas declaró el 2013 como el Año Internacional de la Quinua (AIQ) y el Año Internacional de la Cooperación del Agua. El Año de la Quinua tiene como objetivo centrar la atención mundial en su valor nutritivo, económico, ambiental y cultural. El principal objetivo de la designación del 2013 como Año Internacional de la Quinua es crear conciencia de cómo la quinua puede proporcionar nutrición, aumentar la seguridad alimentaria y contribuir a erradicar la pobreza en el mundo (FAO 2013).

En la cuenca del Mediterráneo, Grecia fue el primer país europeo en introducir la quinua desde mediados de los años '90, y se llevaron a

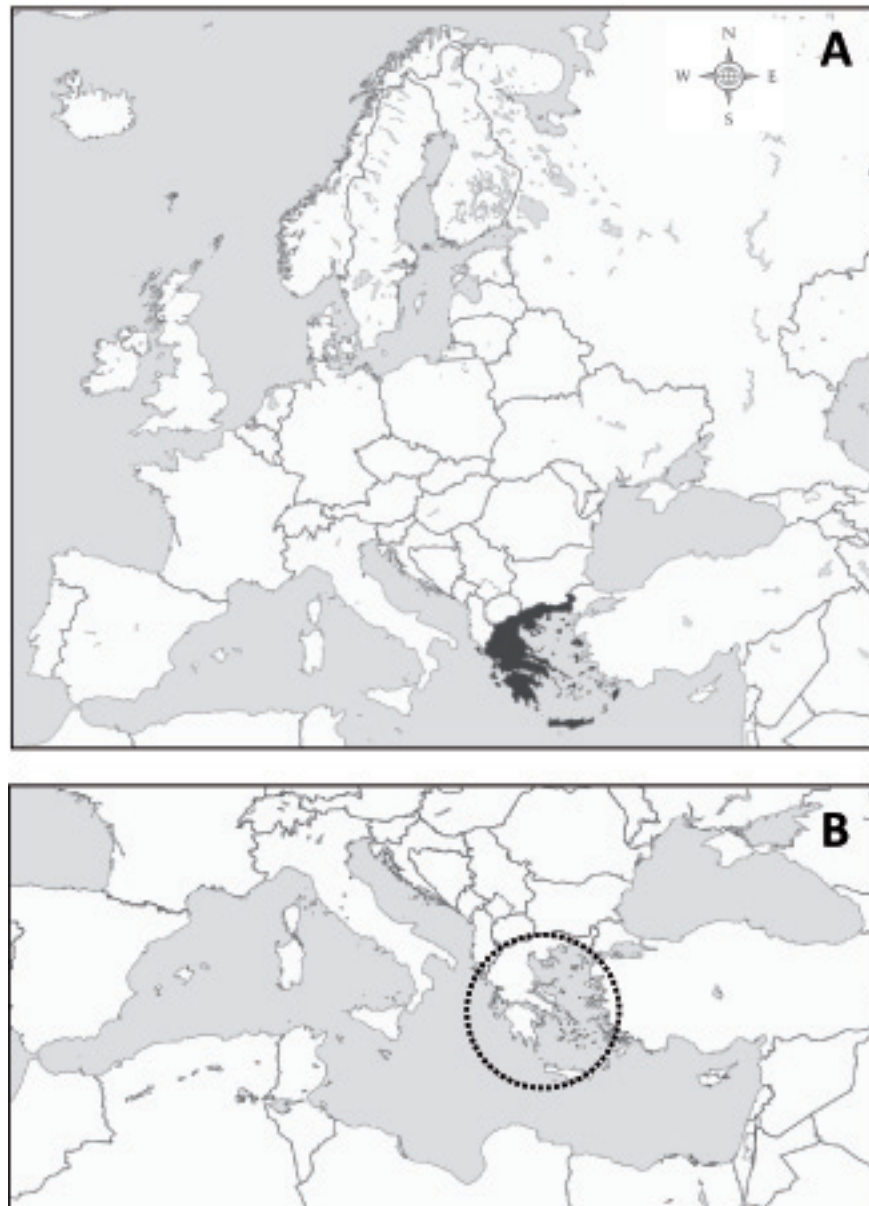
cabo experimentos para evaluar su adaptación. Los institutos de investigación griegos han demostrado interés por la quinua desde 1995 y se llevaron a cabo iniciativas por parte de los investigadores de la Fundación Nacional de Investigación Agrícola (actualmente Directorio General de Investigación Agrícola, Ministerio Helénico de Desarrollo Rural y Alimentario). Los científicos participaron en redes de investigación europeas y participaron en la "Prueba Americana y Europea de la Quinua" organizado por la FAO y coordinado por la Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima, Perú.

### **Condiciones Bio-edafoclimáticas para el cultivo de quinua en Grecia.**

La quinua prospera en condiciones edafoclimáticas adversas y tolera el estrés abiótico. Aun así, es cultivada en suelos de mediana profundidad, de fácil drenaje y arado, con un suministro adecuado de nutrientes y requiere de un período de maduración relativamente largo. El cultivo puede ser adaptado a suelos con textura arenosa a limosa y también a una variedad de pH (4,8 a 8,5) dependiendo del ecotipo. Se sabe que la quinua tolera los suelos salinos o la irrigación con agua con un alto contenido de sales (García 1991; Jacobsen *et al.* 1999).

Consideraciones edafológicas y de terreno de Grecia.

Grecia es un país ubicado en la parte sur de Europa, en la cuenca mediterránea (Figura 1). La superficie total del país es de 131.957 km<sup>2</sup> y con la excepción de Macedonia Central, Macedonia Oriental, Tesalia y Kopaida donde existen planicies, el terreno en el resto de las regiones se caracteriza por colinas y zonas montañosas con diversas formas de relieve. Según estimaciones de la FAO, alrededor del 45% del territorio griego (60.000 kilómetros cuadrados) se compone de suelos sin limitaciones severas. Alrededor de dos tercios del país (86.000 kilómetros cuadrados) es vulnerable a la erosión y al riesgo de desertificación, y los suelos poco profundos cubren el 27% (36.000 kilómetros cuadrados).



**Figura 1:** Mapa de la ubicación de Grecia (A) en Europa y (B) en la cuenca mediterránea.

En las tierras bajas y en especial en las depresiones del suelo de Tesalia (Grecia central), un área de alrededor de 6.500 hectáreas se compone de suelos salinos y/o suelos alcalinos. La proximidad al mar en combinación con la sobreexplotación de las aguas subterráneas para el riego son las responsables de la intrusión de agua de mar, la cual ha afectado la salinización y alcalinización del suelo. La salinidad y la alcalinidad influyen en la productividad de muchos cultivos agrícolas y poco se sabe acerca de la adaptación de la quinua en ambientes específicos de suelos mediterráneos.

Los resultados preliminares de experimentos realizados en Grecia central han demostrado que la quinua tiene potencial de rendimiento, incluso en suelos degradados (Karyotis *et al* 2003) (Cuadros 1 y 2). Los resultados mostraron que, en promedio, en condiciones de suelo salino-sódicos, el rendimiento de semillas de la quinua se redujo en un 45% en comparación con el rendimiento de semillas de plantas cultivadas en suelos con pH neutro.

**Cuadro 1:** Propiedades de dos suelos utilizados para experimentos con quinua en Tesalia (Grecia central)

parámetros del suelo	orden de suelos	
	<i>Vertisol</i>	<i>Inceptisol</i>
arcilla	50	29
CEC (cmol kg <sup>-1</sup> )	29,5	15,3
textura del suelo	Arcilla	arcilla limosa
pH (1:1)	7,0	8.9
Porcentaje de materia orgánica del suelo	1,32	0.89
N <sub>tot</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	1,65	0.49
CaCO <sub>3</sub> (%)	0,44	2.20
EC (dS m <sup>-1</sup> )	< 3,0	6,5

**Cuadro 2:** Nutrientes y micronutrientes de los suelos utilizados para experimentos con quinua en Tesalia (Grecia central)

nutrientes (cmol kg <sup>-1</sup> )		
	<i>Vertisol</i>	<i>Inceptisol</i>
K <sup>+</sup>	1,73	0.22
Na <sup>+</sup>	0,35	4,69
Mg <sup>++</sup>	6,20	1,66
Oligoelementos extraídos por DTPA (mg kg <sup>-1</sup> )		
Fe	8,30	10,90
Zn	3,17	9,55
Mn	12,90	5,90
Cu	2,19	2,57

Las tierras agrícolas en el centro de Grecia, donde inicialmente fue puesta a prueba la quinua, se encuentran principalmente en depósitos aluviales que se caracterizan por una alta variabilidad en la textura del suelo, la acidez, la cantidad de nutrientes disponibles y la hidromorfia. Bajo la influencia de los factores de la génesis del suelo (material madre, tiempo, clima, organismos y topografía), los suelos formados en Tesalia se han clasificados en las órdenes de *Entisol*, *Inceptisol*, *Alfisol*, *Vertisol* y *Molisol* (Soil Taxonomy, 1999). Las actuales llanuras de inundación constan principalmente de suelos Entisoles de formación reciente, los cuales se caracterizan por un depósito continuo de material aluvial.

Se destacan las sub-órdenes de *Fluvents* y *Orthents* en los *Entisoles* de Grecia central. Los *fluvents* son suelos estratificados que se originaron a partir de depósitos aluviales, y se caracterizan por un régimen de humedad del suelo *xérico* y el régimen de temperatura del suelo *térmico*. Estos suelos son profundos y su textura varía significativamente de arenosa y arenosa-limosa, a limosa y arcilla. Son ricos en carbonato de calcio y el riesgo de erosión es bajo debido a la pendiente suave. En áreas con gradientes fuertes, donde el riesgo de erosión es alto, los suelos pertenecen al sub-orden de *Orthents*. La productividad del suelo es de baja a media, mientras que en muchos casos, el material madre aparece en la superficie del suelo, debido a la erosión.

En relación a la adaptación de quinua a *Entisoles*, puede ser argumentado que los principales factores limitantes están relacionados al clima (temperatura, precipitaciones irregulares) y la escasez de agua de riego. Las altas temperaturas en la etapa de floración restringen la polinización y el rendimiento de las semillas es extremadamente bajo. Otro problema es la poca profundidad de ciertos suelos ubicados en pendientes pronunciadas, pues son vulnerables a la erosión.

Los *Inceptisoles* de Tesalia son de textura moderadamente fina a fina, generalmente ricos en material calcáreo y sin problemas severos de drenaje. La materia orgánica del suelo es de menos del 2%. Los suelos de textura pesada se caracterizan por la presencia de grietas durante el período seco a una profundidad mayor de 50 cm desde

la superficie del suelo, mientras que el contenido de arcilla es por lo general de más de 40%. Se espera que el potencial de la quinua en suelos *inceptisoles* sea más alto que en suelos *Entisoles* debido a las mejores condiciones del suelo (textura del suelo, disponibilidad de nutrientes en el suelo) y una mayor capacidad de retención de agua. Las altas temperaturas durante la antesis ( $> 32^{\circ}\text{C}$ ) y la escasez de agua son un problema para los suelos situados en las tierras bajas, mientras que en las zonas altitudinales entre 500-1000 m sobre el nivel del mar, la quinua puede adaptarse mejor.

La mayoría de los *Alfisoles* (suelos bien desarrollados y ligeramente ácidos) en Tesalia se clasifican como *Xeralfes* ya que el régimen de humedad del suelo es *xérico*. La característica principal del suelo es la presencia de un horizonte argílico bien desarrollado. Los suelos son ligeramente ácidos, las superficies horizontales se han erosionado parcialmente debido a la lixiviación parcial del calcio, potasio y magnesio intercambiable. Estos horizontes arcillosos tienen una fuerte estructura angular en bloques y en términos de hidrología pertenecen a las clases de moderadamente drenados o bien drenados. La quinua puede adaptarse bastante bien pero un posible problema puede aparecer en las tierras altas (altitud superior a 1000 m) debido a la lixiviación de cationes intercambiables y la presencia de aluminio intercambiable en los suelos fuertemente ácidos.

Los *vertisoles* son suelos que se caracterizan por un alto contenido de arcilla con grietas superficiales profundas durante el período seco. En general, estos son suelos fértiles, tienen un pH de suelo neutro o ligeramente alcalino y en Grecia central sustentan cultivos como el algodón, el maíz, el trigo o la remolacha. Tienen una estructura fuerte y su drenaje difiere significativamente entre las unidades de suelos. Todos los *Vertisoles* tienen suelos con textura arcillosas y requieren de un manejo cuidadoso y de prácticas agrícolas adecuadas. La mayoría de ellos se encuentran en las tierras bajas y los problemas principales están relacionados con la escasez de agua y el aumento de la temperatura, especialmente en junio y julio. Además, en ciertos casos, el nivel freático es muy superficial, el drenaje de agua es insuficiente y la quinua puede no adaptarse bien.



*Molisoles* son suelos que se han desarrollado sobre materiales calcáreos madre y normalmente provienen de la descomposición de sustratos margosos terciarios. Ocupan sólo un pequeño porcentaje de las tierras cultivadas en Tesalia. La capa superior del suelo es rica en contenido de materia orgánica en el grado de saturación de bases y posee una fuerte estructura del suelo. La textura del suelo es margoso arcilloso o de arcilla, mientras que el pH es ligeramente alcalino o alcalino. No se observaron problemas particulares en referencia al drenaje. El horizonte superficial posee una textura leve, moderada o fina mientras que los horizontes subsuperficiales tienen arcilla o una textura arcillosa. Estos suelos utilizan un pequeño porcentaje de las tierras cultivadas, están ubicados en áreas con cerros o montañas sin problemas graves en lo referente a la fertilidad del suelo. Las condiciones del agua del suelo son favorables y la temperatura es más baja en la etapa de florecimiento. Debido

a la disminución de temperaturas al inicio de la primavera, se recomienda la siembra tardía de la quinua. En estas altitudes la quinua puede ser cultivada como un cultivo de secano. No se recomienda para suelos poco profundos, cuando la profundidad del suelo es menor a 40cm.

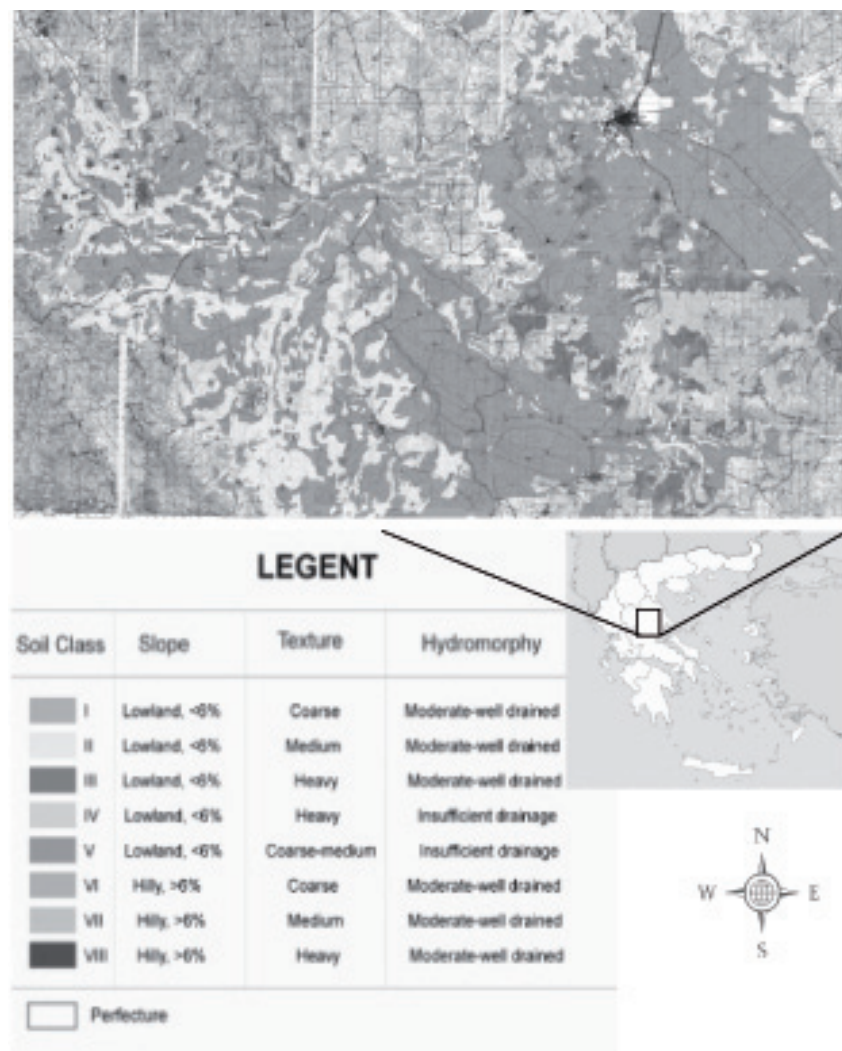
Tomando en consideración la variedad de las propiedades de suelo en las tierras arables de Grecia y las condiciones climáticas, se ha compilado un mapa con las zonas altitudinales (Figura 2) y se sugiere que la quinua sea cultivada en la zona altitudinal entre 500 y 1300m puesto que las condiciones de humedad y temperatura son más favorables. Además, no se requiere de irrigación para obtener un rendimiento rentable. Sin embargo, se deben establecer ensayos de campo para poder evaluar la adaptabilidad y rentabilidad del cultivo de quinua. Otra ventaja del cultivo de quinua en tierras altas es que las laderas se protegen de la erosión.



**Figura 2:** Mapa de clases altitudinales en Grecia.

Por razones relacionadas a la aplicación de prácticas agrícolas adecuadas, se han agrupados las unidades de suelo en una cantidad de unidades limitadas llamadas “unidades de tipos de suelo” (Figura 3). Las agrupaciones están basadas en la textura del suelo, pendiente e hidromorfía que fueron registradas en el mapa de suelos. En lo que se refiere a textura de suelo, tres grupos principales fueron identificados: de textura gruesa, media y densa. Por otra parte, utilizando un umbral de 6% de la inclinación media de la pendiente de suelo, los suelos fueron agrupados en tierras bajas y con colinas. Con respecto a las características hidromórficas, se establecieron

dos categorías: aquellos que poseen buena a adecuada hidromorfía y los de una insuficiente. Para reducir la variabilidad de las propiedades del suelo a un número manejable de “clases de suelo”, estos últimos fueron reducidos al agrupar los suelos de textura gruesa y media con insuficiente hidromorfía en un solo grupo. La quinua se puede adaptar bien en suelos con textura franco-arenosa y areno-franca. De acuerdo con el mapa de suelos de Tesalia (Figura 3), se puede argumentar que la quinua se puede adaptar bien a la mayoría de las categorías de suelo.



**Figura 3:** Mapa de los grupos de suelos en parte de Tesalia, Grecia central (compilado por el Instituto de Mapeo de Suelos y Clasificaciones; Tsitouras, Karyotis & Toullos 2012)

Condiciones climáticas e idoneidad de la quinua para su cultivo en Grecia.

Grecia es un típico país mediterráneo, y las condiciones climáticas son favorables para la mayoría de los cultivos. El clima de Grecia es comúnmente más húmedo hacia el oeste y más seco hacia el este del país (Figura 4). El clima es generalmente templado y suave, con inviernos húmedos y fríos y veranos calurosos y secos. El clima varía según la

altitud, y como consecuencia las zonas con colinas y montañosas son más húmedas y la temperatura promedio es menor en comparación con las tierras bajas. En términos generales, el clima de Grecia se puede dividir en cuatro tipos diferentes:

Mediterráneo Seco  
Mediterráneo Húmedo  
Mediterráneo Continental y  
Mediterráneo Alpino



**Figura 4:** Distribución de la precipitación anual (mm) en Grecia.

En las regiones donde el clima se clasifica como mediterráneo seco, los veranos son secos y cualquier precipitación cae en forma de chubascos o tormentas eléctricas. Los inviernos son húmedos y cualquier caída de nieve no dura mucho. En el tipo de clima mediterráneo húmedo, los inviernos son suaves, con poca y espaciada caída de nieve, aunque pueden ocurrir heladas. Las precipitaciones son abundantes durante todo el año y algunas zonas de la parte occidental de Grecia reciben anualmente más de 1.000 mm de lluvia. Los veranos son calurosos y las temperaturas extremas en ciertos distritos pueden jactarse de ser las temperaturas más altas en el territorio griego. En las zonas donde el clima se clasifica como mediterráneo continental, los inviernos son fríos, con nevadas locales abundantes y con veranos muy calurosos. Las diferencias en la precipitación entre el verano y el invierno varían significativamente, aunque la mayor precipitación tiende a caer a finales de otoño. El clima mediterráneo alpino consiste en inviernos duros con abundantes nevadas y veranos relativamente frescos.

La quinua es sensible a la duración del día y se clasifica como planta de día corto, también es sensible a la temperatura (requiere de temperaturas relativamente bajas para un crecimiento óptimo) y su ciclo de vida se debe a la combinación de estos dos factores (Bertero 2001). Las investigaciones realizadas en EE.UU. informan que las temperaturas que superan los 35°C tienden a causar estados latentes en la planta o esterilidad del polen (AAFRD 2005). En varios años de ensayos, las plantas de quinua no han logrado producir semillas en las tierras bajas de Grecia central, probablemente debido a las altas temperaturas. Iliadis & Karyotis (2000) informaron que, de la evaluación de varias (25) de las variedades de quinua originarias de Europa y América Latina, sólo seis variedades europeas y dos variedades latinoamericanas produjeron semillas, mientras que las variedades restantes (17) procedentes de América Latina produjeron sólo panículas y flores. La fecha de siembra fue al inicio de marzo y las variedades puestas a prueba que fueron cultivadas bajo condiciones de riego se han desarrollado bien y han madurado para la cosecha en cerca de 100 a 120 días (finales de julio) después de su germinación (Tabla 4). Se da por supuesto que la sensibilidad al fotoperíodo

de las variedades no fue la razón principal por qué algunas produjeron semillas, ya que todas las variedades con pequeñas diferencias florecieron aproximadamente al mismo tiempo (alrededor de 60 días después de su germinación, tabla 4). La razón por la cual sólo ocho variedades produjeron semillas puede deberse a las extremadamente altas temperaturas ( $> 32^{\circ}\text{C}$ ) y a días largos (durante la antesis). Las altas temperaturas en Grecia fueron consideradas desfavorables para la producción de semillas de quinua. Si durante la época de floración la temperatura supera los  $35^{\circ}\text{C}$ , el polen se seca y hay una disminución de la fertilización y de la producción de semillas. La sequía es un fenómeno habitual, especialmente en el sector de Grecia central, y la baja humedad relativa durante la antesis restringe la viabilidad del polen.

Las plantas de quinua son tolerantes a heladas suaves (de  $-1^{\circ}\text{C}$  hasta  $-3^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo, las plantas no se ven afectadas por temperaturas inferiores a  $-6^{\circ}\text{C}$  cuando el grano ha llegado a la etapa masosa-blanda. La quinua florecerá antes cuando se cultive en zonas con una duración de día más corta y en general no es un cultivo ampliamente adaptado debido a su sensibilidad a la temperatura. Los experimentos realizados en las condiciones climáticas de Grecia central mostraron que las altas temperaturas ( $> 30-32^{\circ}\text{C}$ ) y días largos (durante la floración) no son favorables para la producción de semillas y la baja humedad relativa durante la antesis restringe la viabilidad del polen. Las altas temperaturas y días largos fueron encontrados no aptos para el crecimiento y la producción de la quinua (Bois *et al* 2006; Iliadis *et al* 1997; Jacobsen *et al* 1994).

De acuerdo a la información (1974-2004) recibida de la Estación Meteorológica de Larisa, la precipitación media anual en la zona es de unos 423 mm y la temperatura media anual es de  $15,7^{\circ}\text{C}$ . La temperatura media del mes más frío (enero) es de  $5,2^{\circ}\text{C}$  y la del más caluroso (julio) es de  $27,2^{\circ}\text{C}$  (Cuadro 3). Teniendo en cuenta la temperatura mínima absoluta que se produce durante marzo, se les sugiere a los agricultores que eviten la siembra temprana de la quinua en la primera quincena de marzo, especialmente en las zonas en las que hay probables heladas.

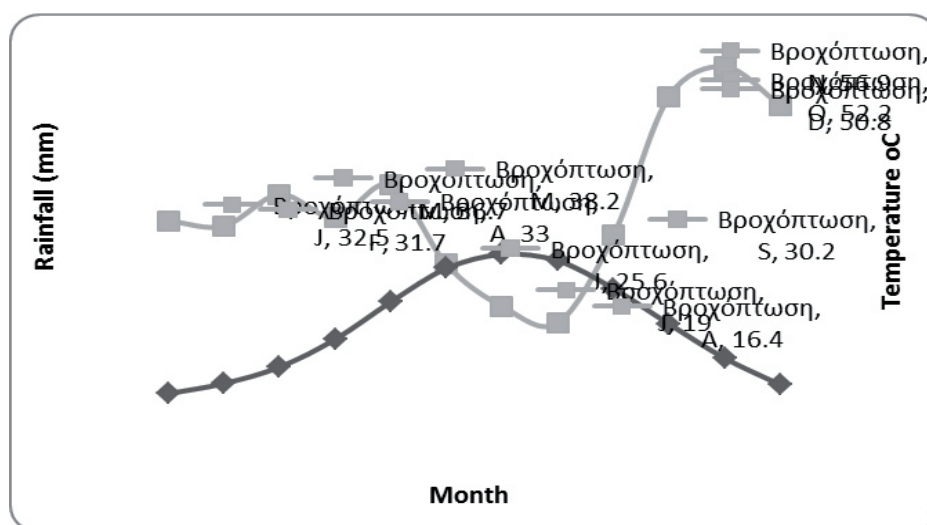


**Cadro 3:** Información del clima para el período entre 1974-2004 de la estación meteorológica de Larisa, Grecia central (Longitud 22°, 25'; Latitud 39°, 36'; Altitud 73m s.n.m.)

Mes	Temperatura promedio (°C)	Temperatura máxima abs. (°C)	Temperatura mínima abs. (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
Enero	5,2	22,8	-21,6	79,6	32,5
Febrero	6,8	25,2	-10,5	75,1	31,7
Marzo	9,4	27,5	-7,0	73,4	36,7
Abril	13,8	32,4	-4,4	68,7	33,0
Mayo	19,7	40,0	1,4	61,6	38,2
Junio	25,0	42,2	7,0	49,2	25,6
Julio	27,2	45,2	11,0	46,6	19,0
Agosto	26,2	45,0	10,0	50,0	16,4
Septiembre	21,8	39,2	0	58,9	30,2
Octubre	16,2	36,8	-2,0	70,0	52,2
Noviembre	10,8	29,6	-7,0	79,5	56,9
Diciembre	6,6	23,2	-17,5	82,2	50,8

La lluvia sigue una distribución temporal irregular; la mayor cantidad de precipitaciones se producen en octubre, noviembre y diciembre, y la menor en junio, julio y agosto. Observando el diagrama ombrotérmico (Figura 5), es obvio que la temperatura media mensual es muy variable, entre 5,2°C y 27,2°C. Por otra parte, la precipitación mensual va desde los 16,4 mm a 56,9 mm. Desde mayo hasta finales de septiembre se registra un déficit de agua y durante este período la quinua

debe ser irrigada para garantizar un rendimiento potencial aceptable. Las temperaturas máximas extremas que pueden ocurrir durante ciertos días en las tierras bajas de Grecia (a veces exceden > 40°C) pueden disminuir considerablemente el rendimiento de semillas de la quinua que normalmente se cosechan a finales de julio, por lo que se sugiere que este cultivo (dependiendo del ecotipo) podría estar mejor adaptado a las zonas de Grecia con cerros y/o montañas.



**Figura 5:** Diagrama ombrotérmico de la ubicación de los experimentos (Larisa, Tesalia, Grecia central, Altitud 73m s.n.m. Latitud 39° 36', Longitud 22° 25')

Los experimentos realizados en las tierras bajas de Grecia central en 1998 (Iliadis *et al* 1999) informaron que el rendimiento de las semillas de los cultivos “FARO” y “407” eran más altos (1990 kg ha<sup>-1</sup>, y 2230 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente) en el período de siembra más temprano a comienzos de marzo, mientras que una siembra más tardía en mayo era inadecuada (0 kg ha<sup>-1</sup>, y 90 kg ha<sup>-1</sup>, para los cultivos “FARO” y “407” respectivamente) debido a la pobre germinación de la semilla (Fotos 1 y 2). De acuerdo con la información climática de este año, la temperatura mínima media mensual del aire en marzo fue baja (-5,2°C) debido los días de helada de la primera semana de este mes. Sin embargo, la temperatura mínima media mensual del suelo para el mismo período fue de 6,7°C.



**Foto 1:** Plantación de quinua (cvs: “FARO” y “407”) de siembra temprana (5 de marzo, 1998) en experimentos realizados en Larisa, Tesalia, Grecia central (Longitud 22°, 25’; Latitud 39°, 36’; Altitud 73 m s.n.m.) (Iliadis *et al* 1999).



**Foto 2:** Pobre establecimiento del cultivo de la Quinua (cvs “FARO” y “407”) en una fecha de siembra tardía (2 de mayo, 1998) en la región de Larisa (Tesalia, Grecia central) (Longitud 22°, 25’; Latitud 39°, 36’; Altitud 73m s.n.m.) (Iliadis *et al* 1999).

Entre las tres clases altitudinales que se presentan en la Figura 2, las clases 500 - 1000m y de 500 - 1300 m s.n.m. se considera que son adecuadas para el cultivo de quinua por las siguientes razones:

Abundante humedad del suelo y condiciones de temperatura favorables. La explotación de los suelos marginales en los cuales se cultivan cereales.

En estas áreas montañosas, la desventaja de las bajas temperaturas en marzo podría ser superada por la siembra tardía, aproximadamente en la segunda

semana de abril. Sin embargo, las fechas de siembra adecuadas deben definirse y validarse después de realizar experimentos de campo.

#### **Colaboraciones Internacionales y Experimentos en Grecia.**

Introducción de la quinua en Grecia.

Grecia fue uno de los países europeos (Suecia, Polonia, República Checa, Austria y Finlandia), que desde 1995 estuvo involucrado en la “Prueba

Americana y Europea de la Quinua”, financiado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (Iliadis et al 1999, 2001 ). El proyecto de la quinua fue realizado por el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú con el objetivo de mejorar el cultivo de la quinua, la introducción de nuevos usos de cosecha, y la mejora de las demandas del mercado. Esta iniciativa fue apoyada fuertemente al proveer semillas de quinua para experimentos de campo en los países europeos partícipes, con el fin de probar su adaptación y la aplicación de diversas prácticas de cultivo en diferentes condiciones de clima y suelo.

Actividades de Investigación con la quinua en Grecia.

*Introducción de la quinua en las planicies de Grecia central.*

Los primeros experimentos para la adaptación de la quinua en la cuenca del mediterráneo fueron llevados a cabo en Grecia. Los resultados informaron que hay alta variabilidad dentro de las variedades, lo que permite su cultivo con resultados positivos incluso en los climas más cálidos de los Andes (Karyotis et al 2003; Taviani et al 2008). En Grecia, la investigación de la quinua se llevó a cabo inicialmente en Larisa, Grecia central (longitud 22° 25', latitud 39° 36', elevación 73m. s.n.m.) (Figura 6) entre 1995 al 2004. Estos experimentos fueron llevados a cabo dentro del marco de COST ACTION 814 (1995-2000, *Desarrollo de cultivos para las regiones húmedas y frescas de Europa*) y continuaron más tarde con COST ACTION 852 (2001-2006 *Sistemas de forraje basado en legumbres de calidad de entornos contrastantes*). Los ensayos de quinua se realizaron en las estaciones de investigación del Instituto de Cultivos Forrajeros y Pastizales en colaboración con el Instituto de Cartografía y Clasificación de Suelos de Larisa (National Agricultural Research Foundation, N.A.G. RE.F. Ministerio Helénico para el Desarrollo Rural y de Alimentos.)

El objetivo de los experimentos preliminares en 1995 fue evaluar la adaptación de dos variedades de quinua a las condiciones edafoclimáticas griegas (Karyotis et al 1996). El material de siembra de las variedades de quinua 'Olav40' y 'KVL68' fue proporcionado por la Real Universidad de Ciencias Veterinarias y Agricultura (Departamento de Ciencias Agrícolas) de Copenhague (Dinamarca). Los resultados indicaron que ambas variedades tienen potencial de producción en Grecia y se concluyó que 'Olav40' obtuvo un

rendimiento considerablemente más alto (1400 kg / ha) que 'KVL68' (440 kg / ha) en experimentos en condiciones similares de suelo y clima.

La investigación se amplió en 1996 y se estableció un experimento en el Instituto de Cultivos Forrajeros y Pastizales para investigar cómo la densidad de siembra (50 y 100 plantas m<sup>-2</sup>) puede afectar el rendimiento de semillas y otras características de calidad de dos quinuas y dos amarantos (*Amaranthus caudatus*) (Iliadis et al 1997). Las muestras de quinua estudiadas fueron 'Faro' y 'Nº 407', esta última originaria de Chile (seleccionada y adaptada en Grecia). El amaranto obtuvo un rendimiento mayor que la quinua y se notó un mayor rendimiento de semillas a mayor densidad de plantas en la muestra de ambas especies. El contenido protéico en las semillas para ambas especies fue en promedio alto (15%) y no se vio afectado por la densidad de las plantas.

También se investigó el efecto de la fecha de siembra en el rendimiento y calidad de la semilla en suelos arcillosos ligeramente alcalinos (Iliadis et al 1999). Cada una de las muestras de quinua "Faro" y "Nº 407" fueron puestas a prueba en tres fechas de siembra (comienzos de marzo, abril y mayo). Para ambos cultivos, los resultados mostraron que el rendimiento de semilla era más alto cuando se sembraba antes (5 de marzo, 1998), mientras que el rendimiento obtenido de la segunda fecha de siembra (1 de abril 1998) disminuyó 30-50% en ambos cultivos. La fecha más tardía (2 de mayo, 1998) fue inadecuada y resultó en una germinación pobre (Foto 2). El resultado bajo las condiciones de los experimentos fue que la fecha de siembra más adecuada es a comienzos de marzo para ambos cultivos, mientras que la tercera siembra dio una densidad pobre de plantas debido a la escasa emergencia de semillas. El cultivo "Nº 407" fue el más productivo en comparación con 'Faro' para todas las fechas de siembra. La mejor calidad de la semilla (proteínas y minerales) se logró en la segunda fecha de siembra. Sin embargo, estos resultados dependen de los ecotipos de quinua examinados.

Veinticinco cultivos prometedores de diferentes regiones agroecológicas (Europa y América Latina) también se evaluaron en 1999 bajo las condiciones griegas de suelo y clima para evaluar su potencial de rendimiento de grano y otras características agronómicas. La evaluación de estas variedades originarias de Europa y América Latina ha demostrado que algunas de ellas son adecuadas para la producción



de semillas (Iliadis y Karyotis 2000). El origen de las variedades parece jugar un rol importante. Sólo 8 (seis de Europa y dos de América Latina) del 25

variedades examinadas produjeron semillas, y las otras 17 produjeron sólo panículas y flores (Cuadro 4).

**Cuadro 4:** Evaluación de 25 variedades de quinua para rendimiento de semilla y otras características (Iliadis & Karyotis 2000) en Grecia central (promedio de cuatro réplicas)

	Variedades	Orígen	RS	F	A	PTS	M
1	E-DK-4-PQCIP-DANIDA-UNA	Dinamarca	1496	59	113	3940	110
2	RU-2-PQCIP-DANIDA-UNA	Inglaterra	794	60	100	4810	100
3	RU-5-PQCIP-DANIDA-UNA	Inglaterra	1018	60	109	3920	106
4	NL6-PQCIP-DANIDA-UNA	Holanda	1100	60	90	2880	101
5	G-205-95-PQCIP-DANIDA-UNA	Dinamarca	1106	60	118	3320	113
6	Control 'Nº 407'	Grecia <sup>2</sup>	812	60	168	4500	116
7	02-EMBRAPA	Brasil	459	64	101	1630	102
8	BAER-II-U-CONCEPTION	Chile	302	60	157	3670	110
9	Cica-127-Cusco	Perú	0	68	156	6660	120
10	Cica-17-Cusco	Perú	0	66	141	7400	120
11	Huariponco-CRIDER-Puno	Perú	0	60	115	3320	118
12	Kancolla-UNA	Perú	0	58	123	4730	122
13	Narino-INIA-Pasto	Colombia	0	77	144	2250	132
14	Salcedo-INIA-Puno	Perú	0	60	113	4830	118
15	Ratuqui-IBTA	Bolivia	0	59	125	2600	118
16	Kamiri-IBTA	Bolivia	0	60	152	2880	121
17	Real-IBTA	Bolivia	0	60	108	2530	120
18	Juiuy-UNA	Argentina	0	60	119	4250	120
19	Sayana-IBTA	Bolivia	0	62	127	2290	124
20	Ingapirca-INIAR	Ecuador	0	68	113	4060	124
21	03-21-079BB-Una-Puno	Perú	0	68	117	4740	124
22	03-21-072RM-Una-Puno	Perú	0	63	109	3830	110
23	Ecu-420-INIAP	Ecuador	0	66	118	4820	119
24	Canchones-Uap-Iquique	Chile	0	0	106	180	122
25	Illpa-UNIA-Puno	Perú	0	61	107	2180	120
		LSD <sub>0.05</sub>	117	1,64		1150	1,44
		CV	15,98	12,40		12,46	9,32

RS= rendimiento de semilla ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ), F= comienzo de floración (días después de germinación), A= alto de la planta (cm) al momento de la cosecha, PTS= peso tallo seco ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ), M= madurez de planta para la cosecha (días después de germinación). <sup>1</sup> Sanchez *et al* (1998), <sup>2</sup> Originado en Chile y seleccionado y adaptado en Grecia.



Mientras que todas las variedades europeas se adaptaron bien, las temperaturas extremadamente elevadas ( $> 30^{\circ} \text{C}$ ) durante la floración fue la razón por la cual la mayoría de las variedades de América Latina no lograron producir semillas. Las semillas de las ocho variedades más prometedoras fueron analizadas en el laboratorio para indicar su contenido de proteínas y minerales. Su potencial de rendimiento se exploró aún más en los experimentos llevados a cabo (Karyotis et al 2003) en dos lugares con propiedades de suelo contrastantes. (Cuadros 1 y 2) y (Fotos 3 y 4).



**Foto 3:** Quinoa cultivada en *Vertisol* con condiciones de suelo neutrales ( $\text{pH}=7$ ) en experimentos realizados en Larisa, Grecia central (Longitud  $22^{\circ}$ ,  $25'$ ; Latitud  $39^{\circ}$ ,  $36'$ ; Altitud 73m s.n.m.) (Karyotis et al 2003).



**Foto 4:** Quinoa cultivada en un *Inceptisol* con condiciones de suelo salino-sódico ( $\text{pH}=8,9$ ) en experimentos realizados en Larisa, Grecia central (Longitud  $22^{\circ}$ ,  $25'$ ; Latitud  $39^{\circ}$ ,  $36'$ ; Altitud 73m s.n.m.) (Karyotis et al 2003).

La mayoría de las variedades de quinoa puestas a prueba no fueron seleccionadas para tolerar las condiciones físicas y químicas poco favorables del suelo, y se debe mejorar el rendimiento a través del fitomejoramiento y la gestión sostenible de los suelos. Se observó que el rendimiento de semillas en suelos marginalmente salino-sódicos disminuyó hasta 45%. En ambos lugares, las variedades originarias de América del Sur fueron superiores en la acumulación de proteína en las semillas. Las variedades de América del Sur fueron nuevamente superiores en la composición mineral de las semillas (Cuadros 5 y 6 adaptadas de Karyotis et al 2003).

**Cuadro 5:** Rendimiento de semilla ( $\text{dt ha}^{-1}$ ), concentración de proteína en semilla completa (%) y contenido de P, Ca, Na, ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en las semillas al momento de la cosecha en ocho variedades de quinua en dos sitios experimentales en Grecia central (*Adaptado de Karyotis et al 2003*)

Variedades	Origen	rendimiento de semilla				proteínas				fósforo (P)		
		L1	L2	L1-L2		L1	L2	L1-L2		L1	L2	L1-L2
E-DK-4-PQCIP-DANIDA-UNA	Dinamarca	22,1	6,2	15,9	**	14,89	17,97	3,08	**	3,30	3,36	0,06
Baer-II-U-Concepcion	Chile	13,1	6,0	7,1		16,59	18,81	2,22	*	3,46	3,72	0,26
RU-2-PQCIP-DANIDA-UNA	Inglaterra	18,7	5,3	13,4	*	15,50	18,72	3,22	**	3,31	3,59	0,28
RU-5-PQCIP-DANIDA-UNA	Inglaterra	23,0	10,7	12,3	*	14,30	19,03	4,73	**	2,97	3,26	0,29
NL6-PQCIP-DANIDA-UNA	Holanda	10,1	7,5	2,6		16,17	18,33	2,16	**	3,68	3,92	0,24
G-205-95-PQCIP-DANIDA-UNA	Dinamarca	12,5	5,2	7,3	**	15,09	18,28	3,19	**	3,48	3,37	0,11
02-EMBRAPA	Brasil	15,1	5,9	9,2		15,33	19,03	3,70	**	3,57	3,90	0,33
'Nº 407'	Chile	15,6	12,7	2,9		14,91	17,41	2,50		3,18	3,39	0,21
Promedio (sitio)		16,3	7,4	8,9	**	15,35	18,45	3,10	*	3,37	3,56	0,19
LSD <sup>†</sup>		8,10	6,70			0,86	1,62			0,36	0,34	

Variedades	Origen	Calcio (Ca)				Potasio (K)				Sodio (Na)		
		L1	L2	L1-L2		L1	L2	L1-L2		L1	L2	L1-L2
E-DK-4-PQCIP-DANIDA-UNA	Dinamarca	3,31	2,34	0,97		18,89	15,71	3,18		0,40	1,49	1,09
Baer-II-U-Concepcion	Chile	5,38	2,39	2,99	**	22,50	14,42	8,08	**	0,37	1,01	0,64
RU-2-PQCIP-DANIDA-UNA	Inglaterra	4,53	2,30	2,23	**	17,25	15,82	1,43		0,37	0,97	0,60
RU-5-PQCIP-DANIDA-UNA	Inglaterra	3,68	2,04	1,64	*	18,62	14,61	4,01	*	0,34	1,02	0,68
NL6-PQCIP-DANIDA-UNA	Holanda	4,74	2,60	2,14	*	17,69	16,21	1,48		0,38	1,08	0,71
G-205-95-PQCIP-DANIDA-UNA	Dinamarca	4,68	2,46	2,22	**	16,10	15,33	0,77		0,36	1,20	0,84
02-EMBRAPA	Brasil	5,48	3,76	1,72		22,63	20,03	2,60		0,39	2,13	1,74
'Nº 407'	Chile	4,40	1,94	2,46	*	21,67	13,77	7,90	*	0,34	0,84	0,50
Promedio (sitio)		4,53	2,48	2,05	**	19,42	15,74	3,68	*	0,37	1,22	0,85
LSD <sup>†</sup>		1,67	0,75			5,16	1,92			0,09	1,08	

L1 es el sitio con el tipo de suelo *Vertisol* (condiciones de suelo neutro) y L2 es el sitio con el tipo de suelo *Inceptisol* (condiciones de suelo salino-sódico) Ver también tablas 1 y 2\*, \*\* denota diferencias significativas entre los sitios en un nivel de probabilidad de un 5% y 1%, respectivamente, según la prueba t de Student por parejas. LSD: para comparar variedades dentro de los sitios a un nivel de probabilidad del 5%

**Cuadro 6:** Contenido de Mg en la semilla completa ( $\text{g kg}^{-1}$ ) y Fe, Zn, Mn, Cu, B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) para ocho variedades de quinua en dos ubicaciones experimentales en Grecia central (adaptado de Kryotis et al 2003)

Variedades	Origen	Magnesio (Mg)				Hierro (Fe)				Zinc (Zn)			
		L1	L2	L1-L2		L1	L2	L1-L2		L1	L2	L1-L2	
E-DK-4-PQCIP-DANIDA-UNA	Dinamarca	4,73	3,70	1,03	*	178	146	32		56	38	18	**
Baer-II-U-Conception RU-2-PQCIP-DANIDA-UNA	Chile	6,43	3,59	2,84	*	205	106	99	*	67	44	23	**
RU-5-PQCIP-DANIDA-UNA	Ingllaterra	5,15	3,76	1,39	*	136	128	8		62	37	25	**
RU-5-PQCIP-DANIDA-UNA	Ingllaterra	5,12	3,50	1,62		94	111	-17		53	34	19	**
NL6-PQCIP-DANIDA-UNA	Holanda	5,28	4,03	1,25	**	155	120	35		63	41	22	**
E-DK-95-PQCIP-DANIDA-UNA	Dinamarca	4,85	3,80	1,05	*	186	191	-5		61	39	22	**
O2-EMBRAPA 'Nº 407'	Brasil	6,49	4,57	1,92		127	257	-130		63	42	21	**
	Chile	5,11	3,46	1,65	**	129	96	33		60	38	22	**
Promedio (ubic)		5,40	3,80	1,60	**	151	129	22		61	39	22	**
LSD†		1,40	0,49			58	66			9	4		

Variedades	Origen	Manganeso (Mn)				Cobre (Cu)				Boro (B)			
		L1	L2	L1-L2		L1	L2	L1-L2		L1	L2	L1-L2	
E-DK-4-PQCIP-DANIDA-UNA	Dinamarca	76	48	28	**	13,9	17,0	-3,1		43	44	-1	
Baer-II-U-Conception RU-2-PQCIP-DANIDA-UNA	Chile	83	49	34	**	17,2	18,6	-1,4		44	34	10	
RU-5-PQCIP-DANIDA-UNA	Ingllaterra	74	43	31	**	15,1	16,4	-1,3		35	39	-4	
RU-5-PQCIP-DANIDA-UNA	Ingllaterra	70	43	27	**	11,8	12,4	-0,6		38	36	2	
NL6-PQCIP-DANIDA-UNA	Holanda	73	47	26	**	13,8	15,3	-1,5		41	42	-1	
E-DK-95-PQCIP-DANIDA-UNA	Dinamarca	81	49	32	**	15,4	16,3	-0,9		35	38	-3	
O2-EMBRAPA 'Nº 407'	Brasil	100	66	34	**	16,7	18,5	-1,8		43	45	-2	
	Chile	91	54	37	**	15,6	16,3	-0,7		47	34	13	*
Promedio (ubic)		81	50	31	**	14,9	16,4	-1,5		40	39	1	
LSD†		16	10			2,0	3,3			12	6		

L1 es la ubicación con el tipo de suelo *Vertisol* (condiciones de suelo neutral) y L2 es la ubicación con el tipo de suelo (condiciones de suelo salino-sódico) Ver también cuadros 1 y 2\*, \*\*, denota diferencias significativas entre las ubicaciones en un nivel de probabilidad de un 5% y un 1% respectivamente, según la prueba de la t-Student por pares. †LSD: para comparar variedades dentro de las ubicaciones a un nivel de probabilidad del 5% Cuadro 6

En un programa de fitomejoramiento que se inició en el 2002, ya se han creado 23 familias utilizando los procedimientos de selección masiva para la creación de nuevas variedades, principalmente adecuadas para estos suelos marginales, de las plantas que sobrevivieron en suelos salino-sódicos (Iliadis et al 2004).

Las siguientes observaciones y las principales conclusiones derivadas de los experimentos llevados a cabo desde 1995 hasta 2004 en Grecia central se pueden resumir en:

Un amplio rango de suelos parecen ser adecuados para la producción de quinua, sin embargo las costras y el agotamiento de la capa superior del suelo pueden restringir el potencial de germinación. Los suelos densos podrían ser utilizados para el cultivo de la quinua bajo regímenes de fertilización y riego apropiados (Iliadis et al 1999; Iliadis et al 2001).

La siembra temprana en marzo es más adecuada para la producción de quinua (en áreas donde se asegure evitar heladas y escarcha) mientras que la siembra tardía (mayo) es poco adecuada y resultó en una germinación pobre.

Las altas temperaturas y los días largos (durante la antesis) son desfavorables para la producción de semillas. La sequía es un fenómeno habitual, especialmente en el sector de Grecia central, y la baja humedad relativa durante la antesis restringe la viabilidad del polen.

Se considera que la mejor densidad para la siembra es de 25 plantas por  $m^2$  o  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ .

La variedad, las prácticas de cultivo, las condiciones del suelo y del clima se encuentran entre los principales factores que controlan el potencial de rendimiento de la quinua. Los rendimientos de semilla en las condiciones climáticas de Grecia central para algunas variedades superaron  $1000\text{-}1500 \text{ kg ha}^{-1}$  y la producción de biomasa de los tallos secos variaba de  $6.000$  a  $8.000 \text{ kg ha}^{-1}$ . Sin embargo, las semillas de quinua eran ricas en contenido de proteínas y minerales.

Los tallos secos de las plantas que quedaron después de la cosecha contenían un alto porcentaje de fibras (45%). Una cantidad de material seco de la planta fue enviado al 'Istituto Poligrafico e Zecca Dello Stato Roma' en Italia y se produjo papel de los tallos secos.

La quinua es tolerante a las condiciones de sequía generalmente prevalentes en las planicies de Grecia. De la experiencia obtenida de este periodo de experimentación, la irrigación es necesaria, especialmente en las etapas tempranas de crecimiento (etapa de la 4<sup>ta</sup> a 6<sup>ta</sup> hoja).

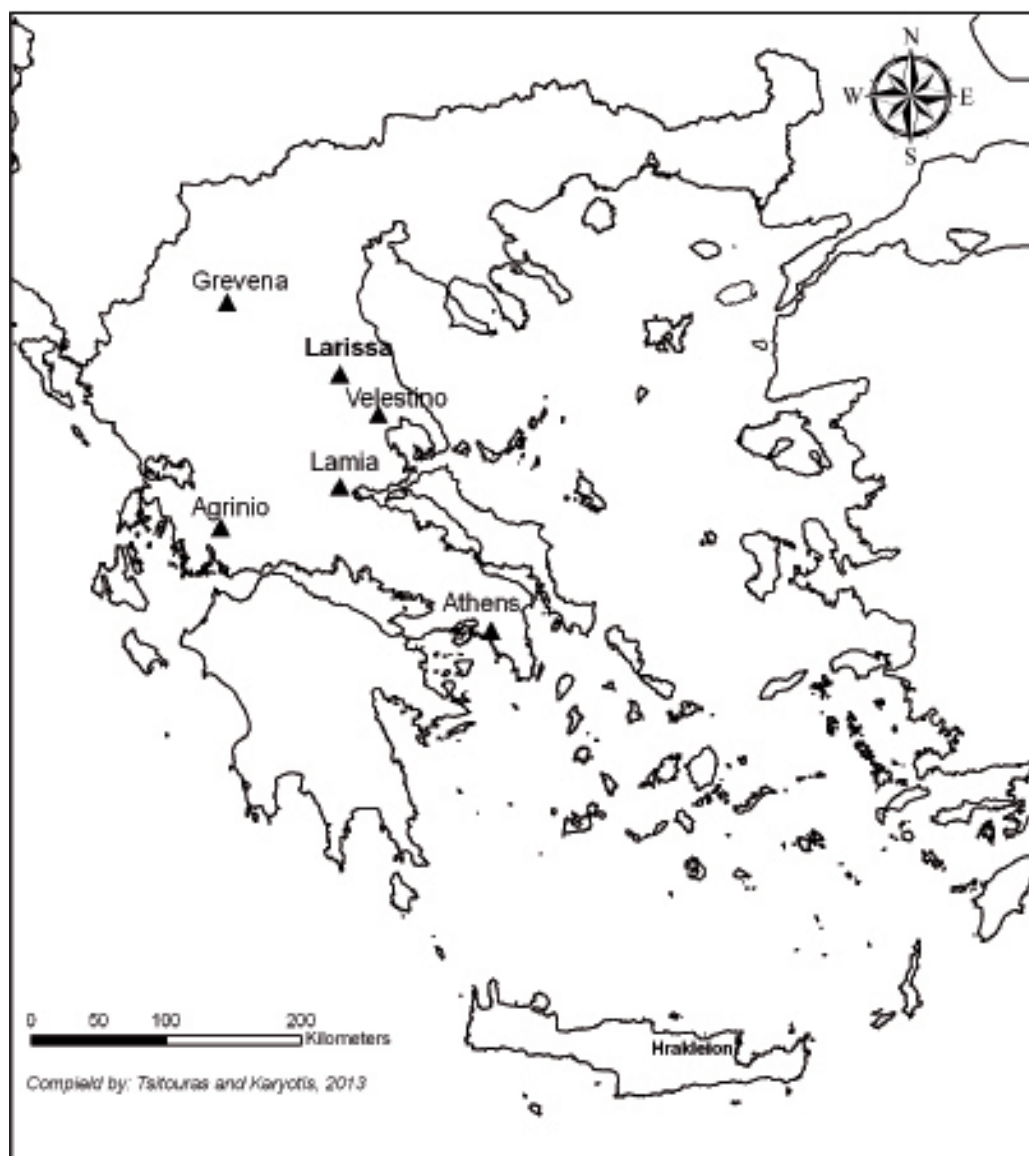
La quinua tolera suelos marginalmente salino-sódicos. Es posible la adaptación de determinadas variedades de quinua, incluso en ambientes marginales para una producción de semilla con alto contenido proteico y mineral (Karyotis et al 2003).

Los resultados de la "Prueba Americana y Europea de la Quinua" mostraron que en Grecia el período de crecimiento para las variedades que maduraron fue de 100-116 días, mientras que el período de crecimiento en el norte de Europa oscila entre 110 y 180 días (Jackobsen., 2003).

Otros lugares en Grecia donde se cultivó o experimentó con quinua.

En Velestino (parte oriente de Tesalia, Grecia central, Lat.  $39^{\circ} 22'$ , Long.  $22^{\circ} 45'$ ) y en Grevena (parte occidente de Macedonia, Grecia septentrional, Lat.  $40^{\circ} 05'$  Long.  $21^{\circ} 25'$ ) (Figura 6), el control de maleza, los ensayos de rendimiento y fertilización en la quinua fueron realizados por la Universidad de Tesalia desde 2008 hasta 2010 (Lolas 2012).





**Figura 6:** Mapa de Grecia que muestra las ubicaciones aproximadas donde se ha cultivado quinua o donde ha sido sometida a pruebas.

En los ensayos de Velesino, los ingredientes activos de los herbicidas examinados no fueron lo suficientemente selectivos para la maleza de hoja ancha, y no pueden ser utilizados de manera segura en el cultivo de la quinua. El control de malezas en estos casos se realiza mediante escardado 20 y 40 días después de la germinación de las semillas de quinua, mientras que en los casos de alta infestación de malezas de hoja ancha son necesarias escardas adicionales durante el periodo de 20-60 días después de la germinación. Las malezas tienen un impacto en el rendimiento de grano, por

lo que se debe tener mucho cuidado al momento de programar las fechas de siembra de la quinua. Se recomienda una siembra temprana (principios de marzo), ya que esto permitirá competir con las malezas que crecen rápidamente porque la quinua exhibe un crecimiento lento durante las dos primeras semanas después de su emergencia y durante esa etapa la competencia de las malezas de rápido crecimiento es mayor. Como se argumentó anteriormente, una siembra temprana también es ventajosa para un mejor rendimiento de semillas (Iliadis *et al* 1999). Sin embargo, se necesitan más

estudios para explorar la efectividad de ciertos herbicidas en la quinua. Es importante notar que en Grecia aun no hay herbicidas aprobados para uso en la quinua. La ausencia de recomendaciones de uso de herbicidas para controlar la población de maleza en la quinua así como la demanda del mercado por productos de calidad producidos bajo un esquema de cultivos agrícolas orgánicos, hacen que sea imperativo explorar distintas técnicas culturales efectivas para el control de la maleza. En Grecia, la agricultura orgánica tiene un futuro y un nuevo desafío. En Grecia, la producción agrícola orgánica se ve favorecida por las condiciones edafoclimáticas (clima templado) que prevalecen, la baja contaminación por agroquímicos, las explotaciones familiares en áreas pequeñas y la demanda del consumidor por productos de calidad. Por otra parte, la agricultura orgánica va a favorecer la producción de productos ecológicos, con buenas propiedades organolépticas y permitirá disfrutar de mejores precios que lo convencional. Por lo tanto, la agricultura orgánica deber ser tomada muy en serio por todas las partes interesadas y, con el apoyo de la Unión Europea, se debe desarrollar de manera eficiente.

En los experimentos realizados por la Universidad de Tesalia a lo largo de tres años (2008-2010) en las ciudades de Velesino y Grevena, los rendimientos de las variedades "Faro" y "CO 407" (el material semilla fue suministrado por el Dr. D. Gimplinger de la Universidad Agrícola de Viena, BOKU) estuvieron entre los rangos de 780 a 4250 kg ha<sup>-1</sup> (Lolas 2012). Durante el mismo experimento se informó que sembrar al comienzo de abril producía rendimientos más altos. En un estudio de Iliadis *et al* (1999) en un suelo ligeramente alcalino, se encontró que el rendimiento de una siembra temprana aumentó en un 30-50%, comparado con una siembra tardía en mayo. La variedad "CO 407" es una variedad baja, de madurez temprana (aproximadamente a 100 días desde su siembra), con una inflorescencia densa de tonos rojizos y con resistencia a la caída de semillas. Tiene un sabor agradable y un contenido protéico de un 16-18%, lo cual es considerablemente más alto que otras variedades (alrededor de 12,5 a 14%). "Faro" es una variedad de alto rendimiento, con un alto de hasta 1,2m, un color de hoja verde claro, unas semillas amarillo-verde, la cual madura en alrededor de 100 días desde la emergencia de

la semilla (quinua de nivel de mar). En el 2009, en el distrito de Mesolakos (en la parte oeste de Macedonia) y con apoyo económico de la prefectura de Grevena y con la participación de los agricultores, se experimentó con la quinua en los pueblos de Agapi y Trilokia (Grecia septentrional).

No se observaron enfermedades de los cultivos, ya que éstos fueron cultivados principalmente a modo experimental en áreas pequeñas en Grecia. Se informó únicamente acerca de algunos daños en los ensayos de Grevena (Grecia septentrional), donde se observó *Chaetocnema sp.*, *Haltica sp* en la etapa de la 7<sup>ma</sup> y 10<sup>ma</sup> hoja. Los campos de quinua en el sur de Europa (Italia, Grecia) informan *Epitrix subcrinita* Le Conte (Chrysomelidae, Coleoptera), y las plantas en etapa de emergencia son atacadas por chicharritas (Cicadellidae, Homoptera) (P. Casini y C. Iliadis, comunicaciones personales citadas en Rasmussen *et al* 2003). Se espera que con la expansión de los cultivos a áreas más amplias puedan surgir serios problemas de enfermedades.

En la granja de la Universidad Agrícola de Atenas (Atica, Grecia central-meridional, latitud 37° 59' N; longitud 23° 42' E, Figura 6) durante el periodo de crecimiento de marzo-agosto 2011, se realizaron pruebas de campo para estudiar los efectos de tres tipos de fertilizantes (compost de algas, humus y control) en el crecimiento y producción de quinua orgánica. El cultivo boliviano "Royal" (DAVERT), certificado por la organización "Bio-Latina", fue utilizado para estudiar el alto de la planta, materia húmeda y seca, índice de superficie foliar (LAI) y rendimiento de semilla. No se encontraron diferencias significativas entre el compost de algas y el humus para las propiedades mencionadas más arriba, mientras que el tratamiento de control tuvo un peor efecto en todas las propiedades de las plantas en comparación con los otros dos tipos de fertilizante. Entre los tratamientos de fertilización, la aplicación de humus entregó la mayor cantidad de materia seca (10.857 kg ha<sup>-1</sup>), seguido por el compost de algas (10.148 kg ha<sup>-1</sup>) y el control (8.700 kg ha<sup>-1</sup>). El rendimiento de semilla fue significativamente más alto cuando se aplicó humus (2.200 kg ha<sup>-1</sup>) comparado con el control, pero no cuando es comparado con el abono de algas (Katsenios 2012).

En Agrinio (Aetolia-Arcanania, Grecia occidental,

lat. 38° 35', Long.:21° 25' Figura 6) entre mayo y septiembre 2011, se estudiaron los efectos de dos sistemas de labranza (sistema convencional y sistema reducido) combinados con tres distintos regimenes de fertilización (grupo control, abono de vaca y compost de alga) en % total de nitrógeno del suelo, densidad del sistema radicular de la quinua, peso seco y fresco, índice de superficie foliar (LAI) y rendimiento de semilla (Kastenios, 2012). La labranza reducida tuvo efectos positivos comparado con la labranza tradicional, y afectó de manera significativa el N total y la densidad radicular, lo cual resultó en una mayor biomasa sobre el suelo. Entre los regimenes de fertilización, el abono de vaca afectó de manera positiva todas las propiedades medidas y obtuvo mayor rendimiento que el abono de algas (no hubo diferencia estadística), mientras que el grupo de control siempre presentó valores más bajos. La labranza reducida resultó en un rendimiento de semillas más alto (2.532 kg ha<sup>-1</sup>) comparado con la labranza tradicional (2.418 kg ha<sup>-1</sup>). El abono de vaca entregó un rendimiento de semillas de quinua significativamente más alto (2.584 kg ha<sup>-1</sup>) comparado con el grupo de control (2.365 kg/ha), pero no con el compost (2.475 kg ha<sup>-1</sup>).

Además, el efecto de la fertilización orgánica en la flora de la maleza y en la alelopatía de la quinua fue investigada en los campos experimentales de la Universidad Agrícola de Atenas (Attica, Grecia central-meridional, latitud 37° 59' N; longitud 23° 42' E, 170m s.n.m., Figura 6) (Gournaki 2012). Se estudiaron los efectos alelopáticos en tres tejidos de quinua (raíces, brotes e inflorescencias y hojas) en el crecimiento de avena (*Avena sativa*) y de las malezas *Avena sterilis* y *Echinochloa spp.* También se estudió su efecto en la densidad de la maleza, tomando en cuenta el tipo de fertilización utilizado (abono, humus y control). Se encontró que sólo el crecimiento de la quinua influyó en la aparición de maleza y no el tipo de fertilización aplicada. En experimentos similares, la actividad alelopática de tres tejidos vegetales (raíces, brotes e inflorescencias) de *Chenopodium quinoa* fue evaluada en el crecimiento de las partes aéreas (crecimiento de la plántula) y las partes bajo suelo (crecimiento radicular) de avena en experimentos de maceta, evaluada por Bilalis *et al* (2013). Los distintos tejidos de la planta de quinua tuvieron

distinta actividad alelopática. El crecimiento de la avena (tanto peso fresco como peso seco de las partes sobre y bajo suelo) se vio significativamente inhibido por la actividad fitotóxica de los tejidos inflorescentes, hojas y raíces de *Chenopodium quinoa*. La cuantificación de la toxicidad de los extractos de quinua por medio de tres métodos de bioensayo (germinación de semilla y crecimiento de la radícula de la avena, peso seco y fresco del frijol común y peso fresco de las plantas de lenteja de agua) reveló que todas las especies puestas a prueba (avena, frijol y lenteja de agua) demostraron un mayor respuesta fitotóxica a las inflorescencias que a otros tejidos (hojas y raíces) de la quinua (Bilalis *et al* 2013).

Se realizaron ensayos de fertilización (control, abono de vaca, compost) de la quinua entre 2010-2011 en Agrinio (Aetolia-Acarnania, Grecia occidental, Figura 6). Adicionalmente, estos experimentos fueron realizados para determinar el efecto de las prácticas culturales (labranza mínima y labranza convencional) en el rendimiento y las características de calidad del cultivo de quinua (Bilalis *et al* 2012). El mayor índice de superficie foliar (4,47-5,03), peso seco de la quinua (8.650-9.290 kg ha<sup>-1</sup>) y densidad de raíz de la quinua (1,03-1,21 cm cm<sup>-3</sup>) se encontró con la labranza mínima (MT). El contenido de saponina de la quinua es muy importante para la industria. No se encontraron diferencias importantes en el porcentaje de contenido de saponina entre la labranza mínima y la labranza convencional. El rendimiento de la semilla (2.485-2.643 kg ha<sup>-1</sup>) y el contenido de saponina (0,42-0,45%) más alto se encontró con el abono de vaca y en los tratamientos de compost. También se encontraron los rendimientos más altos de saponina (7,70-12,05 kg ha<sup>-1</sup>) en el sistema de labranza mínima (LM). Los resultados indican que la labranza mínima (LM) y una fertilización orgánica aumentaron la saponina y el rendimiento de la quinua. .

#### **Situación actual y perspectivas de la quinua en Grecia.**

En Grecia, este cultivo aun no se cultiva de manera comercial, excepto en una pequeña área (aproximadamente 1 ha) en la región de Lamia (Grecia central-meridional, Figura 6) en el 2012, en colaboración con la Universidad de Tesalia (Lolas

2012). A pesar de que las expectativas de ingresos de los agricultores podrían ser altas, especialmente con la introducción de un cultivo nuevo, prometedor y desconocido como es la quinua en Grecia, se tardarán varios años antes de que se logre esta innovación. Se espera que el cultivo alcance la etapa que permita su comercialización en los próximos 5 a 10 años. Se debe investigar más acerca de la quinua, se debe domesticar y se deben seleccionar nuevas variedades y adaptarlas a las condiciones climáticas de Grecia en varias zonas agroecológicas. Como se informaba anteriormente, los cultivos prometedores, especialmente aquellos originados en Europa, exhiben potenciales de rendimiento aceptables. Las futuras actividades de investigación deben priorizar el fitomejoramiento para la adaptación de los cultivos y particularmente para aumentar la estabilidad del rendimiento, así como también el desarrollo y comercialización del producto.

En Grecia, se han realizado esfuerzos de fitomejoramiento desde el 2001 para nuevas variedades de quinua de alto rendimiento de semilla adecuadas tanto para suelos neutrales como para suelo salino-sódico. Las observaciones de campo indicaron que las variedades de quinua puestas a prueba no eran morfológicamente uniformes. Las

plantas de quinua han presentado variabilidad principalmente en su tipo de inflorescencia y en el color de sus granos. Ya en el 2001, se hicieron selecciones de plantas individuales y las plantas más productivas de cada variedad, en su mayoría sin ramas, con inflorescencias compactas y grandes granos blancos, fueron seleccionadas para ambos tipos de suelos usados en los experimentos. Desde el 2002 que se ha iniciado un proyecto de fitomejoramiento para la creación de variedades de alto rendimiento de semillas, adecuadas para suelos neutros y salino-sódicos con inflorescencia compacta y grandes granos blancos. Los ensayos de selección fueron establecidos en Larisa (Grecia central) bajo irrigación. Se le dió énfasis a las plantas cultivadas en suelo salino-sódico, y cinco variedades fueron seleccionadas. El método de fitomejoramiento utilizado fue el de selección de línea pura. Ya están disponibles 23 selecciones de línea pura, originadas en ambos tipos de suelo, que han mostrado un rendimiento de grano prometedor a nivel de planta individual (Cuadro 7). Estas selecciones debían ser evaluadas en siembra densa en experimentos típicos de rendimiento de semilla, pero estos experimentos fueron discontinuados por la falta de apoyo financiero.

**Cuadro 7:** Selección de plantas individuales de las plantas con rendimiento de semillas más alto en dos variedades de suelo (Iliadis *et al* 2004).

Nº de plantas individuales	Fuente de selección	tipos de suelo	Tipo de crecimiento de planta	Alto de la planta (m)
1	'Nº 407'	N	UN-B	1,57
2		S-S	UN-B	1,57
3		N	UN-B	1,30
4		S-S	UN-B	1,51
5		S-S	B	1,57
6	RU-5-	S-S	UN-B	1,15
7	PQCIP-	S-S	UN-B	1,28
8		S-S	UN-B	1,30
9	DANIDA-	N	UN-B	1,25
10		S-S	B	1,30
11	UNA	N	B	1,50



12	BAER–	N	B	1,50
13		S–S	UN-B	1,36
14	II–U–	S–S	UN-B	1,00
15	CONCE	N	UN-B	1,45
16	PTION	S–S	UN-B	1,17
17		N	B	1,17
18	02–EM	N	UN-B	1,01
19	BRAPA	N	B	1,15
20		S–S	B	1,21
21	<b>G–205–95–</b>	S–S	B	-
22	PQCIP–	S–S	B	-
23	DANIDA–	N	B	1,21
	UNA			

### Usos y subproductos de la quinua.

La quinua puede ser considerada como uno de los cultivos “olvidados” y sólo recientemente se está utilizando como un nuevo alimento funcional (super-alimento). La quinua, a parte de ser un cultivo alternativo, exhibe altos valores nutricionales tales como harina de semilla protéica (14-18%) y un excelente equilibrio de aminoácidos (Oelke *et al* 1990; Aluko & Monu 2003; Abugoch *et al* 2009). Es una importante fuente de minerales (calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc, manganeso) y vitaminas (A, B2, E) y además es libre de gluten. Se recomiendan los productos libres de gluten para los celíacos. Actualmente, el único tratamiento para la enfermedad celíaca es evitar la ingestión de gluten de por vida. Los pacientes deben seguir una dieta muy estricta y evitar cualquier producto que contenga trigo, centeno o cebada (algunos autores también incluyen la avena). Los pacientes con enfermedad celíaca no pueden ingerir comidas tales como pan, pizza o galletas y no pueden tomar cerveza. Debido a las propiedades únicas del gluten, es un gran desafío para los científicos de alimentos producir productos de buena calidad y libres de gluten (Shoenlechner *et al* 2008). Se han desarrollado muchos productos a pequeña escala con la harina de quinua, tales como pan, galletas, pasta, meriendas, cereales de desayuno, comida para bebés, cerveza y suplementos dietéticos.

En Grecia, hay un creciente interés por los

productos libres de gluten. La *Asociación Griega de Celíacos* (<http://www.coeliac.gr/>) como miembro de la Asociación Europea de Sociedades Celíacas (<http://www.aoecs.org/>) participa activamente en las actividades con el fin de ayudar a difundir la información antes mencionada y facilitar la vida diaria de los que padecen esta enfermedad. La falta de información en conjunto con la limitada experiencia acerca del cultivo de quinua ha resultado en un vacío de información para la industria griega y mediterránea de la agricultura y los agroalimentos.

Recientemente (mayo 2013) la Autoridad de Alimentos Helénica (EFET) anunció una serie de eventos bajo el marco del proyecto conocido como “Know In Target” (disponible en: <http://www.knowintarget.eu/final-and-international-conference-in-athens-30-and-31-may-2013/>) exponiendo los temas importantes del sector agro-alimenticio en relación a la competitividad sectorial y al bienestar del consumidor. Entre los temas presentados, se incluyó Innovación y Emprendimiento en la Producción de Alimentos, con especial énfasis a los productos libres de gluten. La meta del taller era informar al sector productor acerca de las dudas y preocupaciones de los celíacos, la conciencia del público, los cambios de actitudes y comportamiento de los consumidores con enfermedad celíaca y los desafíos en diseño de los alimentos libre de gluten. Al taller asistieron, entre otros, ejecutivos de negocios, representantes de industrias, gerentes de instituciones públicas y científicos de las áreas de medicina, alimentos y

nutrición.

Por otra parte, en los últimos años en Grecia han aumentado los sitios de internet de agricultura, biomercado, salud, estado físico y páginas sociales donde se presenta mucha información acerca del cultivo de quinua. Es importante destacar que el consumo de quinua aun es limitado y se concentra mayoritariamente entre los consumidores preocupados por la salud y el medioambiente.

### **Potencial para investigaciones, desarrollo y diseminación de los resultados.**

La producción de quinua requiere de condiciones solamente encontradas en altas altitudes (noches frescas y días calurosos). Estos requisitos restringen la producción de quinua a unas pocas regiones climáticas y se puede esperar una producción exitosa principalmente en las tierras altas y regiones frescas de Grecia septentrional.

Los principales problemas para la expansión de la quinua en Grecia podrían estar relacionados con:

Cantidad limitada de plantas de procesamiento y ausencia de potencial de manufactura.

Discernimiento por parte de los agricultores para entender los detalles de la producción de quinua, el manejo post-cosecha, variedades de quinua disponibles que sean bien adaptables a las condiciones griegas.

Distancia de los mercados de la Unión Europea.

Ausencia de incentivos por parte de la Comisión Europea para la quinua y pagos de apoyo en relación a otros cultivos competitivos (por ejemplo, algodón).

El consumo de quinua en Grecia está muy limitado a aquellas personas con conocimiento de alimentos saludables, individuos que han investigado acerca de la quinua y la valoran por sus beneficios de salud y su condición libre de gluten.

En lo que se refiere a la promoción del consumo de quinua, las acciones deben estar enfocadas al financiamiento de la participación de los agricultores en programas de capacitación, y al consumo interno de quinua (por ejemplo, en programas de desayuno escolar, subsidios maternos y programas de alimento de las fuerzas armadas). Actualmente, el consumo de quinua aun es bastante limitado en todo el país.

El Instituto de Investigación Agrícola en Grecia podría orientarse a promover los trabajos coordinados de varios proyectos de demostración relacionados a la investigación aplicada de la quinua (adaptación, escasez de agua, planes de fertilización, prácticas agrícolas apropiadas, etc). Los temas deben incluir un programa regional para el manejo de suelos e irrigación, el desarrollo de nuevas tecnologías para la siembra, prácticas de fertilización e irrigación apropiadas, y el desarrollo de nueva tecnología pre y post cosecha.

La creación de mecanismos financieros permitirá ofrecer un mejor acceso al capital a los agricultores y empresas de procesamiento. Sin embargo, considerando las condiciones económicas en Grecia en los últimos años, hay dificultades en los mecanismos financieros por lo que este momento no es el adecuado para satisfacer las necesidades económicas de empresas y agricultores. Un tema importante es la introducción y establecimiento de una red de agricultores orientados a los mercados internacionales.

La producción agrícola en Grecia se caracteriza por un fuerte uso de mano de obra con escaso uso de tecnología. Se debe destacar que otro obstáculo para el rendimiento rentable de la quinua en Grecia es el número limitado de parcelas de tierra. Este factor es crucial porque aumentan los costos de producción. Esta situación también restringe las intervenciones en el manejo de suelos y aguas, y en muchos casos no es efectivo cultivar en condiciones sustentables.

Las investigaciones y ensayos realizados por la Fundación Nacional de Investigación Agrícola en Grecia (N.AG.RE.F.) ha demostrado que en la región de Tesalia, la planicie agrícola más grande en Grecia, la quinua es agrónomicamente viable. Los ensayos realizados en los campos demostraron que, con la introducción de la tecnología adecuada, sería posible aumentar el rendimiento de los cultivos en forma significativa y también expandir significativamente el cultivo de quinua utilizando tierras que han sido consideradas poco adecuadas para la agricultura (por ejemplo, en suelos alcalinos).

El desarrollo de la tecnología agrícola ha construido prototipos de maquinaria para la labranza, que son los siguientes: sembradora, cosechadora, secadora, trilladora, etc. El Ministerio de Desarrollo Rural y Alimenticio debe invertir en infraestructura

(campos, educación para los agricultores, acceso a créditos, etc.). Además, debe invertir en la recolección y evaluación de germoplasmas, en programas de mejoramiento genético y agronómico así como también industrialización y manejo post-cosecha. También deben llevarse a cabo campañas de marketing y temas de consumo para poder proveer información acerca de precios, mercados, y estimular la demanda y consumo masivo.

Se requiere de más investigación por parte de los institutos y universidades de investigación agrícola; se sugiere que se realicen experimentos en una mayor variedad de suelos en la mayoría de las zonas agroecológicas de Grecia. Se pueden identificar posibles eco-regiones para cultivar este cultivo en Grecia, tomando en consideración la resistencia de la quinua a la sequía, su capacidad de rendimiento incluso en suelos marginales (Iliadis *et al* 2001; Jacobsen *et al* 2003), y en áreas de bajas temperaturas. En comparación con otros cultivos, la quinua parece ser un cultivo rentable y prometedor. El rendimiento de la quinua, así como de muchos otros cultivos, depende de varios factores, tales como variedad, prácticas de cultivo, y condiciones agro-climáticas. El rendimiento varía considerablemente de año en año y de región en región. Esto podría deberse a si se ha establecido exitosamente el cultivo, a la presencia de maleza, a las técnicas de cosecha y cultivo y a otros factores. Un factor que ha tenido un efecto significativo en el crecimiento y desarrollo de la quinua y que reduce el rendimiento es la combinación de altas temperaturas con días largos (fotoperíodo largo) durante la etapa de crecimiento. Los esquemas de rotación con la quinua son similares a las rotaciones observadas en la papa. Los efectos de los monocultivos y la rotación de cultivos sobre el rendimiento, biomasa aérea, y poblaciones de maleza en cuatro cultivos andinos: papa (*Solanum tuberosum*), melloco (*Ullucus tuberosus*), lupín (*Lupinus mutabilis*) y quinua (*Chenopodium quinoa*), sembrados con y sin fertilizantes fue estudiado por Nieto-Cabrera *et al* (1997), donde sugirieron que en un esquema de rotación, la papa fertilizada debe ser seguida por quinua no fertilizada y el melloco seguido por quinua con y sin fertilización son las secuencias más recomendadas. Esta es la práctica común que mejora los rendimientos de la quinua y por lo tanto la fertilidad del suelo. Además, el ciclo de vida de varios patógenos es destruido y cualquier residuo

de fertilizantes aplicado a cultivos previos que no haya sido utilizado puede ser utilizado por la quinua, disminuyendo su dependencia de los fertilizantes de N.

Hoy en día la quinua es importada de Bolivia y Perú, que son los principales proveedores de este producto. Según I.I.C.A. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2010), la Unión Europea (UE) es el mayor consumidor de quinua a nivel mundial. No hay información disponible acerca del consumo de quinua en la Unión Europea, pero el tamaño del mercado puede estimarse según datos comerciales, puesto que la Unión Europea no produce cantidades significativas de quinua. Para el 2009, el mercado de la Unión Europea se puede estimar en € 14 millones/6,5 mil toneladas. El valor mercado estimado para el 2005 fue € 3 millones, indicando que el mercado ha crecido rápidamente. De los € 14 millones de quinua importada, el 94% tuvo su origen en Bolivia y un 6% en Perú. La mayoría de las oportunidades para la quinua se pueden encontrar en Europa occidental, con Francia, los Países Bajos y Alemania siendo en la actualidad los mayores importadores. Sin embargo, estos países también re-exportan la quinua importada a otros países de la Unión Europea, especialmente los Países Bajos. Actualmente, otros importadores interesantes podrían ser el Reino Unido, España, Italia, Dinamarca y Suecia. Europa occidental también es el mayor mercado para los productos alimenticios orgánicos, siendo Alemania el principal candidato, que representa alrededor de un tercio del mercado total de alimentos orgánicos de la UE.

#### Referencias.

- AAFRD (2005). Quinoa ... The Next Cinderella Crop for Alberta? Technical report, prepared by Rachid El Hafid, Hicham Aitelmaalem, Darcy Driedger, Manjula Bandara and Jodi Stevenson. Alberta Agriculture, Food and Rural Development (AAFRD), June 2005. HTTP Disponible: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/afu9961](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/afu9961)
- Abugoch L, E Castro, C Tapia, MC Añón, P Gajardo & A Villarroel (2009). Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 2013–2020. doi: 10.1111/j.1365-2621.2009.02023.x
- Aluko RE & E Monu (2003). Functional and bioactive

properties of quinoa seed protein hydrolysates. *Journal of Food Science* 68: 1254–1258.

Bertero HD (2001). Effects of photoperiod, temperature and radiation on the rate of leaf appearance in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions. *Annals of Botany* 87: 495–502.

Bilalis D, I Kakabouki, A Karkanis, I Travlos, V Triantafyllidis & D Hela (2012). Seed and Saponin Production of Organic Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for different Tillage and Fertilization. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, Norte América, 40: (1), 42–46, Disponible HTTP: <http://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/7400>

Bilalis DJ, IS Travlos, A Karkanis, M Gournaki, G Katsenios, D Hela & I Kakabouki (2013). Evaluation of the allelopathic potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Romanian Agricultural Research* 30: 359–364. Available HTTP: <http://www.incda-fundulea.ro/rar/nr30/rar30.44.pdf>

Bois JF, T Winkel, JP Lhomme, JP Raffailac, & A Rocheteau (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy* 25:299–308.

EC (2009). Regions 2020. The Climate change challenge for European regions. Working paper of the Directorate General for Regional Policy. Brussels, March 2009. Disponible HTTP: [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docoffic/working/regions2020/pdf/regions2020\\_climat.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/working/regions2020/pdf/regions2020_climat.pdf)

EC (2010). The CAP towards 2020: Meeting the food, natural resources and territorial challenges of the future. Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. Disponible HTTP: [http://ec.europa.eu/agriculture/cap-post-2013/communication/com2010-672\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/cap-post-2013/communication/com2010-672_en.pdf).

EC (2012). Union Europeo. Directorate-General for Agriculture and Rural Development. Agriculture in the European Union, Statistical and Economic Information, Informe diciembre 2012. Disponible HTTP: [http://ec.europa.eu/agriculture/statistics/agricultural/2012/pdf/full-report\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/statistics/agricultural/2012/pdf/full-report_en.pdf)

Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) (1998). Estado Mundial de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Roma: FAO. Disponible HTTP: [http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPS/Pgrfa/wrlmap\\_e.htm](http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPS/Pgrfa/wrlmap_e.htm)

Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) (2013). “Quinoa, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial”. Documento de trabajo producido por PROINPA/FAO, Disponible HTTP: <http://www.fao.org/quinoa-2013/publications/fr/>

Garcia M (1991). *Análisis del comportamiento hídrico de dos variedades de quinoa frente a la sequía*. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. Tesis, La Paz, Bolivia. 126 pp.

Gournaki M (2012). *The effect of the organic fertilization on the weed flora and on the allelopathy of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. Tesis de magister. Agricultural University of Athens. (en griego). [http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/5139/Gournaki\\_M.pdf?sequence=1](http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/5139/Gournaki_M.pdf?sequence=1)

Iliades C, Th Karyotis & S Jacobsen (1999). ‘Effect of sowing date on seed quality and yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) in Greece’, En: Crop development for the cool and wet regions of Europe: *Workshop on Alternative crops for sustainable agriculture of the COST Action 814*, BioCity, Turku, Finlandia, pp. 226–231.

Iliadis C & Th Karyotis (2000). ‘Evaluation of various Quinoa varieties (*Chenopodium quinoa* Willd.) originated from Europe and Latin America’, En: Crop development for the cool and wet regions of Europe: *Proceedings of the final conference of the COST Action 814*, eds. G Parente & J Frame, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, ISBN 92-894-0227-X. pp. 505–509.

Iliadis C, Th Karyotis & Ch Noulas (2004). ‘Breeding of new quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties with adaptation to neutral and saline–sodic soils’ En: European Agriculture in a global context: *proceedings of the VIII European Society for Agronomy Congress*, eds. S Jacobsen, CR Jensen & J Porter, Copenhagen, Denmark, pp. 399–400.

Iliadis C, Th Karyotis & Th Mitsibonas (1997). ‘Research on Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and Amaranth (*Amarantus caudatus*) in Greece’,



En: Crop development for the cool and wet regions of Europe: *Workshop on small grain cereals and pseudocereals of the COST Action 814*, eds. R Ortiz & O Stølen, Wageningen, Países Bajos, pp. 85–91.

Iliadis C, Th. Karyotis & SE Jacobsen (2001). 'Adaptation of quinoa under xerothermic conditions and cultivation for biomass and fibre production'. En: Jacobsen, SE, Mujica A & Portillo Z (eds). *Memorias, Primer Taller Internacional sobre Quinoa – Recursos Genéticos y Sistemas de Producción*, UNALM, Lima, Peru. Editor CIP, pp. 371–378. Disponible HTTP: [www/condesan.org/publicaciones/libro14/cap4.8.htm](http://www.condesan.org/publicaciones/libro14/cap4.8.htm).

Jacobsen SE (2003). The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19: 167–177.

Jacobsen SE, A Mujica & C Jensen (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International* 19: 99–109.

Jacobsen SE, H Quispe, JL Christiansen & A Mujica (1999). 'What are the mechanisms for salt tolerance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)?' En: Crop development for the cool and wet regions of Europe: *Proceedings of the final conference of the COST Action 814*, eds. G Parente & J Frame. pp. 511–516.

Jacobsen SE, I Jørgensen, & O Stølen (1994): Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. *Journal of Agricultural Science* 122: 47–52.

Karyotis Th, C Iliadis, Ch Noulas & Th Mitsibonas (2003). Preliminary Research on Seed Production and Nutrient Content for Certain Quinoa Varieties in a Saline–Sodic Soil. *Journal of Agronomy & Crop Science* 189: 1–7.

Karyotis Th, Th Mitsibonas, C Iliadis, G Kapetanaki & A Haroulis (1996). 'Adaptation of Quinoa under Greek conditions', En: Crop development for the cool and wet regions of Europe: *proceedings of the Danish Delegation of the Management Committee of the COST Action 814*, eds. O Stølen, K Bruhn, K Pithan & J Hill, 22–24 February, Copenhagen, Dinamarca, pp. 133–137.

Katsenios I (2012). *The effect of tillage system and compost fertilization on growth and yield of organic Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. Tesis de magister. Agricultural University of Athens. (en

griego). Disponible HTTP: [http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/5678/Katsenios\\_I.pdf?sequence=3](http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/5678/Katsenios_I.pdf?sequence=3)

Lal R (2009). Soils and world food security. *Soil Tillage Research* 102:1–4.

Lolas (2012). Exploring quinoa crop. A new promising and unknown crop in Greece (*in Greek*). Disponible en HTTP: <http://www.zookomos.gr>

Nieto-Cabrera C, C Francis, C Caicedo, PF Gutiérrez & M Rivera (1997). Response of four Andean crops to rotation and fertilization. *Mountain Research & Development* 17 (3): 273–282. Disponible en HTTP: <http://www.jstor.org/stable/3673854>

Oelke A, DH Putnam, TM Teynor & ES Oplinger (1990). Quinoa En: Alternative field crops manual. University of Wisconsin University of Minnesota - Cooperative Extension.

Rasmussen C, A Lagnaoui & P Esbjerg (2003). Advances in the Knowledge of Quinoa Pests. *Food Reviews International* 19: 1 & 2, 61–75.

Sanchez AM, SE Jacobsen, J Izqiedo & JP Marathe (1998). American and European test of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). B. Smith (ed.), Communications Unit international Potato Center, Lima Perú, pp. 37.

Shoenlechner R, S Siebenhandl & E Berghofer (2008). Pseudocereals. En Arendt EK & Dal Bello F (Eds). *Gluten-Free Cereal Products and Beverages (Food Science and Technology)*. Amsterdam, Elsevier Academic Press. ISBN 978012373739.

Soil Taxonomy (1999). A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA, NRCS, Agricultural Handbook, No 436, Washington, DC 20402.

Taviani P, A Rubini, L Menconi, G Pieroni & F Damiani (2008). Introduzione di nuove colture: La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Progetto Co.Al.Ta. II*. Presentati nell'ambito del Progetto Di.Al.Ta. II. "Divulgazione delle colture alternative al tabacco" Disponible en HTTP: [http://sito.entecra.it/portale/public/documenti/coalta2\\_sintesi\\_finale.pdf](http://sito.entecra.it/portale/public/documenti/coalta2_sintesi_finale.pdf).

## SUB-PARTE 6.2. ASIA

### CAPÍTULO 6.21.

## TÍTULO: QUINUA EN EL SUBCONTINENTE INDIO

\*Autor para correspondencia: Atul BHARGAVA <[abhargava@amity.edu](mailto:abhargava@amity.edu)>

**Autores:** ATUL BHARGAVA<sup>a</sup>, DEEPAK OHRI<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Amity Institute of Biotechnology, Amity University Uttar Pradesh (Lucknow Campus), Gomti Nagar Extension, Lucknow-227105 (UP), India.

<sup>b</sup> Department of Research, Amity University Uttar Pradesh (Lucknow Campus), Gomti Nagar Extension, Lucknow-227105 (UP), India.

### Resumen

El subcontinente indio es una gran masa de tierra que abarca India, Pakistán, Nepal, Sri Lanka y Bangladesh y sostiene el 20% de la población del mundo. Esta zona es propensa a la degradación de los recursos naturales debido al intenso cultivo que conduce a una disminución en la fertilidad del suelo, cambios en la profundidad de la capa freática, deterioro de la calidad del agua de riego y el aumento de la salinidad en la región. Una gran parte de la población de esta región tiene poco acceso a una dieta rica en proteínas ya que los principales granos alimenticios cultivados y consumidos en el área son el trigo y el arroz. El aumento de la población exige un aumento en la producción de alimentos junto con un cambio hacia una agricultura ambientalmente sostenible. Los nuevos desafíos requieren la selección de cultivos que requieran menos insumos y al mismo tiempo puedan satisfacer la deficiencia nutricional predominante en esta región. La quinua es un cultivo 'subutilizado' dado su superioridad nutricional sobre los cultivos tradicionales y su amplia adaptabilidad a diversas condiciones agronómicas. Sin embargo, no se ha explotado su potencial comercial en Asia del sur. El grano altamente proteico de la quinua, con su mejor espectro de aminoácidos, puede jugar un papel importante en la lucha contra el "hambre

silenciosa" que prevalece entre las poblaciones pobres con poco acceso a una dieta nutritiva. La capacidad que tiene la quinua para producir granos de alto valor proteico en condiciones estresantes la hace importante para la diversificación de los futuros sistemas agrícolas, especialmente en el subcontinente indio. La popularidad mundial de la quinua y los prometedores reportes iniciales desde Asia la hacen un candidato importante como cultivo alternativo en esta región.

### Introducción.

El subcontinente indio es la porción sur de Asia, situado en su mayoría en la placa India y proyectando hacia el sur en el océano Índico. El subcontinente indio está rodeado por la Cordillera del Himalaya en el norte, las Arakanese en el Oriente, el Hindu Kush en el oeste y se extiende hacia el sur en el océano Índico con el Mar Árabe al suroeste y la bahía de Bengala hacia el sureste (Chapman y Baker, 2002). La región está dividida entre cinco principales Estados: India, Nepal, Pakistán, Bangladesh y Sri Lanka (Figura 1). El área incluye también dos pequeños países- Bhután y la República de Maldivas. El área total puede estimarse en unos 4,4 millones de kilómetros cuadrados, y alberga cerca del 22% de la población mundial. El subcontinente indio exhibe una enorme diversidad de regiones

agroclimáticas y condiciones edafoclimáticas. Los diversos dominios fisiográficos de esta región incluyen elevadas cadenas montañosas, tierras altas y mesetas, desiertos, grandes llanos fértiles de valle así como zonas costeras (Balfour 1976; Shukla et al. 2005a; Saini 2008).

### El subcontinente indio

El subcontinente indio está en la segunda etapa de la transición demográfica, es decir, tiene altas tasas de natalidad y bajas tasas de mortalidad. Por lo tanto, la población de los países de esta región ha crecido a pasos agigantados. India, con 1,27 mil millones de habitantes y una densidad poblacional de 382 personas por kilómetro cuadrado, es el segundo

país más poblado del mundo y se prevé que tendrá una población de más de 1,53 mil millones a finales del año 2030. El cuadro 1 muestra el tamaño de la población, la tasa de crecimiento y la densidad de la población para todos los países del subcontinente indio. La región es hogar de un gran número de los pobres del mundo en desarrollo. Según estimaciones recientes de la pobreza del Banco Mundial, unos 571 millones de personas en la región sobreviven con menos de 1,25 dólares al día y constituyen más del 44% de los pobres del mundo en desarrollo. Esta región también tiene el mayor número de niños desnutridos en el mundo, con algunos focos con tasas de desnutrición superiores a las prevalentes en África.

**Cuadro 1.** Perfil demográfico de los países del subcontinente indio.

País	Población	Tasa de crecimiento	Tasa de fecundidad (Niños nacidos/mujer)	Densidad de la población (Personas/km <sup>2</sup> )*
India	1,220,800,359	1.41	2.5	411
Pakistán	187,343,000	1.60	3.58	229
Bangladesh	142,316,000	1.57	2.6	1174
Sri Lanka	20,263,723	0.91	2.17	323
Nepal	26,494,504	1.59	2.95	189
Bután	708,427	1.20	2.13	19
Maldivas	394,999	1.30	1.90	1107

\*Estimaciones de población de la FAO y el Banco Mundial.

El aumento de la población en esta parte del mundo exige un aumento en la producción de granos alimenticios junto con un cambio hacia una agricultura ambientalmente sostenible. Durante los últimos 50 años, la agricultura aquí se ha transformado significativamente de subsistencia a intensiva, que requiere de mecanización agrícola, y mayores insumos de mano de obra, variedades de rendimiento alto, fertilizantes químicos y pesticidas (Bhargava et al. 2008a). Aunque esto ha significado un marcado aumento del rendimiento, la exigencia de estos insumos también ha aumentado el endeudamiento de los agricultores de manera considerable, además de poner presión indebida sobre agro-ecosistemas frágiles, y aumentar la homogeneidad y los monocultivos resultando

en pérdida de la biodiversidad agrícola y frecuentes pérdidas de cosechas debido a la infestación por patógenos. La situación se ve agravada por la excesiva dependencia en unas pocas especies de plantas, con 12 especies proporcionando el 75% del suministro de alimentos del mundo y los tres principales cultivos, arroz, trigo y maíz proporcionando un 50% de los alimentos del mundo (Bermejo y León 1994; FAO, 1996; Heywood, 1999; Thies, 2000). Esta condición prevalece a pesar del hecho de que cerca de 7000 especies han sido cultivadas por cientos de años y todavía están en uso en diversas partes del mundo actual (IPGRI 2002). Este énfasis en un puñado de grandes cultivos ha reducido el número de especies de las cuales depende la seguridad

alimentaria mundial y muchas especies no están consideradas. Las consecuencias de las pérdidas de cosechas debido a estreses imprevistos, las plagas y enfermedades son potencialmente catastróficas (Prescott-Allen y Prescott-Allen, 1990). Recientemente ha habido un impulso en diferentes aspectos de la investigación sobre cultivos sub-utilizados y se han realizado una serie de importantes programas para promover esos cultivos para los sistemas agrícolas, como una fuente alternativa de nutrición.

Los cultivos subutilizados menores, huérfanos o abandonados, son aquellos que anteriormente fueron ampliamente cultivados y consumidos y que han caído o están cayendo en desuso (Hammer et al. 2001). Esta categoría se aplica a menudo a especies de plantas que son indígenas, en vez de a las introducciones no nativas adaptadas y que a menudo forman una parte compleja de la cultura y las dietas de las personas que las cultivan (Mayes et al. 2012). Las especies subutilizadas han sido apreciadas por las comunidades debido a su papel en la generación de ingresos, adaptabilidad a condiciones de cultivo marginales, relevancia para la cultura alimentaria local y su diverso valor nutricional y nutracéutico (DEFRA, 2005; Mwangi y Kimathi, 2006; Hawtin 2007; Bhargava et al. 2008a; Hughes 2009; Mahyao et al., 2009; Bala Ravi et al. 2010; Shukla et al. 2010; Padulosi et al., 2011). La resistencia excepcional de muchas de estas especies y su capacidad para hacer frente condiciones climáticas adversas es muy prometedora en el tiempo del cambio climático (Bala Ravi et al., 2006). El uso de estas especies sin duda contribuirá positivamente a la seguridad alimentaria y el bienestar de los pobres. Los cultivos subutilizados tienen un enorme potencial para aliviar el hambre directamente, mediante el aumento de la producción de alimentos en ambientes limitantes donde el rendimiento de los principales cultivos tradicionales se ve seriamente afectado. Esto es posible mediante el aumento de los niveles nutricionales y también por el aumento de los ingresos y por lo tanto, el poder adquisitivo de los pobres (Mayes et al. 2012).

#### **Quenopodios en el subcontinente indio.**

*Chenopodium* es el género principal de la familia

Chenopodiaceae, que también incluye plantas como la remolacha azucarera, remolacha y espinaca (Bhargava et al. 2005a). Los quenopodios son cosmopolitos en distribución y ocurren en todas partes del mundo (Hickey y King 1988). El género *Chenopodium* incluye especies perennes herbáceas (sect. *Agathophyton*), suffrutescent (sect. *Ambrina*) y arborescentes (sect. *Skottsbergia*), aunque la mayoría de ellas se presentan como anuales colonizadoras (Wilson 1990). Desde tiempos inmemoriales, las comunidades étnicas en el subcontinente han usado las hojas de quenopodios para problemas urinarios (Bakshi y Sensarma 1999) y para la eliminación de parásitos intestinales (Singh et al., 2003). Antiguos textos medicinales indios describen la planta como oleaginosa, diurética, afrodisíaca, y útil en enfermedades de los ojos, hemorroides, y enfermedades del corazón y el bazo (Kirtikar y Basu 2001). La primera documentación del cultivo de quenopodios en Asia, especialmente en la región del Himalaya, se remonta a más de 150 años (Roxburgh 1832; Thomson 1852). En la actualidad se están cultivando quenopodios en las cuencas de los ríos Chenab, Ravi, Beas, Satluj y Yamuna en los Himalayas occidentales y en las áreas montañosas de Bengala del norte, la cuenca del río Teesta y varios estados del noreste de India (Joshi 1991; Partap et al., 1998). *C. album*, clasificada entre las malezas del top 10 del mundo (Holm et al., 1977), se cultiva en la región noroeste del Himalaya como un cultivo alimentario secundario en sistemas agropecuarios mixtos, particularmente en sistemas de cultivos múltiples (Partap y Kapoor, 1985, 1987). La planta es cultivada en esta región por su grano nutricionalmente rico así como un cultivo de forraje y para usos culinarios (Partap, 1990). Más del 90% de las familias en la región cultivan quenopodios y utilizan casi todas las partes de la planta para varios propósitos. Aparte de fines comestibles, la planta también se utiliza como combustible y para la preparación de bebidas alcohólicas (Partap et al., 1998). Sin embargo, en las Llanuras Indogangéticas, *C. album* no es cultivada pero es escardada de otros cultivos y vendido en los mercados locales para el consumo como verdura de hoja.



## La quinua y su relevancia en el subcontinente indio.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), un cultivo andino subutilizado, ha llamado la atención mundial debido a su capacidad para crecer en distintas condiciones de estrés como salinidad y acidez del suelo, la sequía y heladas y su exhibición de un alto nivel de resistencia a estos factores de estrés ambiental (Jacobsen et al. 2003; Gómez-Pando et al. 2010). Por lo demás, los estreses ambientales como el estrés hídrico, térmico y salino están entre las principales limitaciones a la productividad en el subcontinente indio que a menudo conducen a extensas pérdidas de los cultivos. La situación se complica por el hecho de que para la mayoría de los países de esta región la agricultura es el pilar de la economía. En la región andina la quinua es una fuente importante de alimentos para el consumo humano y también tiene un inmenso valor industrial (Bhargava et al. 2006a; Fuentes y Bhargava 2011). Durante la larga historia de su cultivo, la planta ha sido cultivada en zonas ecológicas diferentes que van desde el nivel del mar hasta altitudes de 2000-4000 m (Bazile et al., 2013; Fuentes y Bhargava 2011). La quinua puede denominarse como 'subutilizada', especialmente en el subcontinente indio a pesar de su amplia adaptabilidad, rusticidad y superioridad nutricional, por lo tanto, su potencial comercial no ha sido explotado. Una gran parte de la población de este subcontinente tiene poco acceso a una dieta rica en proteínas ya que los principales granos alimenticios cultivados son el trigo y el arroz. El grano altamente proteico de la quinua con un mejor espectro de aminoácidos puede proporcionar una dieta balanceada en esta región y puede jugar un papel importante en la lucha contra el 'hambre silenciosa' entre las poblaciones pobres que tienen poco acceso a una dieta rica en proteínas (Bhargava et al. 2006a). Además de esto, una mejor tecnología y vínculos con otras áreas, como el desarrollo de productos y comercialización, permitiría a la industria aprovechar su potencial para diversas aplicaciones.

### Los recursos genéticos y resultados de campo.

La evaluación de la quinua en el subcontinente indio ha producido resultados impresionantes

con el cultivo mostrando una buena adaptación y un rendimiento abundante. India, situada entre 8° y 38°N y 68° y 93.5°E, exhibe una enorme diversidad de regiones agroclimáticas y condiciones edafoclimáticas (Bhargava et al., 2006a). Desde principios de los noventa se está llevando a cabo una investigación sobre la quinua en el Instituto Nacional de Investigación Botánica (NBRI), Lucknow (India). Este Instituto está situado en una zona en el centro de las Llanuras Indogangéticas (IGP), una región de tierra cubriendo grandes áreas de India, Pakistán, Nepal y Bangladesh (Figura 1). Esta zona se caracteriza por suelos fértiles y un abundante suministro de agua (Aggarwal et al., 2004). La investigación en NBRI aumentó vigorosamente en el año 2000 cuando se realizaron extensas pruebas de campo junto a un esfuerzo coordinado de muchos departamentos, a saber: de genética y fitomejoramiento, química de lípidos, patología vegetal, taxonomía experimental y biología de biomasa (Bhargava et al. 2005b, 2006a, 2007, 2008b, c; Kumar et al. 2006). Los ensayos en las Llanuras Indogangéticas han demostrado que el cultivo puede ser cultivado con éxito en esta región, con muchos cultivares dando un alto rendimiento de granos (Bhargava et al., 2007). Experimentos de la quinua en el subcontinente indio se basan principalmente en germoplasma obtenido del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y en IPK Gatersleben, Alemania. El informe más amplio de la India (Bhargava et al. 2007) enumera el germoplasma evaluado principalmente de los países de América del Sur, como por ejemplo Bolivia, Chile, Perú y Argentina (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Líneas de germoplasma, su fuente, origen y color de la semilla (Tomado de Bhargava et al. 2007, con permiso de Elsevier)

Línea de germoplasma	Fuente	Estatus*	Origen*	Altitud* (m)	Color de la semilla
<i>C. quinoa</i> Willd. CHEN 58/77	IPK, Alemania	-	-	4000	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. CHEN 67/78	IPK, Alemania	-	Puno, Peru	-	Oscuro
<i>C. quinoa</i> Willd. CHEN 71/78	IPK, Alemania	-	Bolivia	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. CHEN 33/84	IPK, Alemania	-	-	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. CHEN 84/79	IPK, Alemania	-	Cuzco, Peru	3200	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. CHEN 92/91	IPK, Alemania	-	Columbia	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. CHEN 7/81	IPK, Alemania	-	-	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 614938	USDA	-	Oruro, Bolivia	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 478408	USDA	Cultivar	La Paz, Bolivia	3800	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 478414	USDA	Cultivar	La Paz, Bolivia	3800	Oscuro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 596498	USDA	Variedad local	Cuzco, Peru	3030	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. Ames 13219	USDA	-	La Paz, Bolivia	3700	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. Ames 13719	USDA	-	New Mexico, USA	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 587173	USDA	Cultivado	Jujuy, Argentina	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 510532	USDA	Cultivado	Peru	3000	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 614883	USDA	-	Jujuy, Argentina	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 584524	USDA	Cultivado	Chile	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. Ames 22156	USDA	Cultivar	Chile	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. Ames 13762	USDA	-	Nueva Mexico, USA	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 614881	USDA	-	Jujuy, Argentina	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 510537	USDA	Cultivado	Peru	-	Oscuro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 510547	USDA	Cultivado	Peru	-	Oscuro
<i>C. quinoa</i> Willd. Ames 22158	USDA	Variedad local	Chile	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 510536	USDA	Cultivado	Peru	-	Oscuro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 478410	USDA	Cultivar	La Paz, Bolivia	3800	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. PI 433232	USDA	-	Chile	-	Claro
<i>C. quinoa</i> Willd. Ames 21909	USDA	Variedad local	Oruro, Bolivia	3870	Claro
<i>C. berlandieri</i> subsp. <i>nuttalliae</i> PI 568155 (Saff.) Wilson and Heiser	USDA	Variedad local	Mexico	1680	Oscuro
<i>C. berlandieri</i> subsp. <i>nuttalliae</i> PI 568156 (Saff.) Wilson and Heiser	USDA	Variedad local	Mexico	2700	Oscuro

\*Del base de datos de germoplasma.

Veintisiete líneas de germoplasma de la quinua y dos líneas de *C. berlandieri* subsp. *nuttalliae* fueron evaluadas para 12 características morfológicas y 4 características cualitativas en Lucknow (26.5°N de latitud y 80,5°E de longitud; 120 m sobre el nivel

del mar), Uttar Pradesh en los años de cosecha 2002-2003 y 2003-2004. Las condiciones climáticas generales para ambos años experimentales se presentan en Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Las condiciones climáticas durante el primer y segundo experimento (Tomado de Bhargava et al. 2007, con permiso de Elsevier)

Experimento I (2002-2003)	Temperatura (°C)			Punto rocío (°C)	de Viento (km/hra)	
	Max.	Min.	Medio			
Noviembre	24		16	20	14	3
Diciembre	18		11	15	10	4
Enero	15		7	11	8	3
Febrero	24		11	18	12	6
Marzo	30		16	23	13	7
Abril	38		23	30	15	9
Experimento II (2003-2004)						
Noviembre	28		14	21	12	2
Diciembre	21		11	16	11	4
Enero	10		8	9	7	3
Febrero	25		12	19	11	4
Marzo	34		17	26	13	5
Abril	37		23	30	16	7

El sitio experimental tenía un suelo franco arenoso y no se aplicó fertilizantes químicos antes o durante el experimento. Además, ningún fungicida o insecticida fue utilizado durante el experimento. En las Llanuras Indogangéticas la quinua generalmente se siembra al inicio de los inviernos de mediados a finales de noviembre y se cosecha en febrero o marzo según el período de madurez de la variedad. Las 29 líneas de germoplasma evaluadas tuvieron un periodo de crecimiento prefloración promedio de

cerca de 82 días y la maduración del grano demoró alrededor de 48 días (Cuadro 4). Así, el período de crecimiento total en las condiciones del norte de la India fue inferior al reportado en América del sur (110–190 días) (Jacobsen y Stolen, 1993) y similar a la del norte de Europa (Jacobsen, 1998). El índice de cosecha presenta una gran variabilidad y varió de 0,26 a 1,43 lo que apunta hacia una alta eficiencia de la compartimentación reproductiva en la quinua (cuadro 4) (Bhargava et al. 2007).

**Cuadro 4. Rendimiento promedio de 29 líneas para 12 caracteres morfológicos en *Chenopodium*** (Tomado de Bhargava et al. 2007, con permiso de Elsevier)

Líneas de germoplasma	Origen	Días a floración	Días a la madurez	Alto de la planta (cm)	Superficie foliar (cm <sup>2</sup> )	Ramas primarias/planta
<i>C. quinoa</i> CHEN 58/77	-	73.55	117.67	45.41	15.71	16.56
<i>C. quinoa</i> CHEN 67/78	Puno, Peru	74.55	119.44	59.63	6.12	16.70
<i>C. quinoa</i> CHEN 71/78	Bolivia	79.33	131.67	46.33	26.94	15.44
<i>C. quinoa</i> CHEN 33/84	-	101.55	144.00	42.33	9.46	16.96
<i>C. quinoa</i> CHEN 84/79	Cuzco, Peru	86.00	121.67	86.97	17.47	22.11
<i>C. quinoa</i> CHEN 92/91	Columbia	81.89	123.22	77.49	24.69	14.06
<i>C. quinoa</i> CHEN 7/81	-	85.11	133.78	123.56	22.14	28.00
<i>C. quinoa</i> PI 614938	Oruro, Bolivia	71.00	109.33	11.27	5.67	10.00
<i>C. quinoa</i> PI 478408	La Paz, Bolivia	71.33	109.33	17.67	8.93	8.55
<i>C. quinoa</i> PI 478414	La Paz, Bolivia	83.66	134.11	78.98	21.53	20.55
<i>C. quinoa</i> PI 596498	Cuzco, Peru	83.77	129.00	65.87	20.82	17.33
<i>C. quinoa</i> Ames 13219	La Paz, Bolivia	81.99	129.98	53.96	11.75	19.21
<i>C. quinoa</i> Ames 13719	N e u v a Mexico, USA	82.21	120.28	115.52	25.03	27.74
<i>C. quinoa</i> PI 587173	J u j u y , Argentina	85.33	125.78	101.03	30.91	16.74
<i>C. quinoa</i> PI 510532	Peru	86.67	157.11	144.03	22.02	25.55
<i>C. quinoa</i> PI 614883	J u j u y , Argentina	70.78	109.89	54.89	12.33	21.89
<i>C. quinoa</i> PI 584524	Chile	81.33	127.00	115.89	29.64	25.00
<i>C. quinoa</i> Ames 22156	Chile	80.55	126.00	106.44	26.16	20.44
<i>C. quinoa</i> Ames 13762	N u e v a Mexico, USA	79.33	132.44	123.72	5.00	23.00
<i>C. quinoa</i> PI 614881	J u j u y , Argentina	87.11	127.22	113.00	25.00	24.56
<i>C. quinoa</i> PI 510537	Peru	84.33	124.00	100.00	14.39	25.44
<i>C. quinoa</i> PI 510547	Peru	82.11	131.78	66.67	16.02	14.11
<i>C. quinoa</i> Ames 22158	Chile	80.89	131.11	80.27	23.25	21.24
<i>C. quinoa</i> PI 510536	Peru	73.78	115.22	31.05	4.42	17.53
<i>C. quinoa</i> PI 478410	La Paz, Bolivia	82.77	126.78	101.10	17.29	22.61
<i>C. quinoa</i> PI 433232	Chile	81.00	130.00	108.66	23.01	20.89
<i>C. quinoa</i> Ames 21909	Oruro, Bolivia	82.55	152.44	82.44	25.87	21.00
<i>C. berlandieri</i> subsp. <i>nuttalliae</i> PI 568155	Mexico	91.33	163.33	139.44	21.44	35.74
<i>C. berlandieri</i> subsp. <i>nuttalliae</i> PI 568156	Mexico	85.33	152.33	135.44	13.53	29.11
Medio		81.76	129.51	83.76	18.15	20.62
±S.E.		+1.18	+2.51	+6.79	+1.44	+1.08
CD (5%)		2.41	5.14	13.90	2.94	2.21
CD (1%)		3.26	6.93	18.76	3.97	2.98
CV		7.82	10.44	43.67	42.75	28.32



Líneas de germoplasma	Origen	Longitud de la inflorescencia (cm)	Inflorescencia/planta	Tamaño de semilla (mm)	Peso de 1000 semillas (g)	Peso seco/planta (g)	Índice de cosecha	Rendimiento de semillas (t/ha)
<i>C. quinoa</i> CHEN 58/77	-	2.93	41.19	1.58	1.81	6.31	1.07	2.11
<i>C. quinoa</i> CHEN 67/78	Puno, Peru	1.71	91.63	1.34	0.78	5.75	0.74	3.75
<i>C. quinoa</i> CHEN 71/78	Bolivia	3.39	127.73	1.97	2.85	7.21	1.43	3.27
<i>C. quinoa</i> CHEN 33/84	-	2.42	13.85	1.57	2.07	3.84	1.40	1.33
<i>C. quinoa</i> CHEN 84/79	Cuzco, Peru	1.00	117.78	2.21	3.57	10.47	1.32	3.44
<i>C. quinoa</i> CHEN 92/91	Columbia	2.25	64.11	2.01	3.70	10.21	0.88	2.25
<i>C. quinoa</i> CHEN 7/81	-	4.09	141.55	2.09	3.65	28.00	1.41	9.83
<i>C. quinoa</i> PI 614938	Oruro, Bolivia	1.07	11.67	1.73	1.87	1.11	1.06	0.32
<i>C. quinoa</i> PI 478408	La Paz, Bolivia	0.84	14.65	2.17	2.87	1.26	1.19	0.47
<i>C. quinoa</i> PI 478414	La Paz, Bolivia	1.60	106.48	1.81	3.03	14.00	1.25	6.07
<i>C. quinoa</i> PI 596498	Cuzco, Peru	2.47	90.33	2.03	3.08	19.89	0.79	3.93
<i>C. quinoa</i> Ames 13219	La Paz, Bolivia	2.64	114.66	2.06	3.54	15.08	0.73	2.80
<i>C. quinoa</i> Ames 13719	Neuva Mexico, USA	2.67	98.00	2.15	3.65	32.03	0.99	9.33
<i>C. quinoa</i> PI 587173	Jujuy, Argentina	2.25	68.50	2.01	4.09	15.47	0.81	3.17
<i>C. quinoa</i> PI 510532	Peru	2.24	138.22	1.51	1.25	52.89	0.29	1.68
<i>C. quinoa</i> PI 614883	Jujuy, Argentina	3.61	45.89	1.73	1.77	3.03	0.97	1.00
<i>C. quinoa</i> PI 584524	Chile	2.51	137.55	1.58	3.02	29.86	0.90	6.60
<i>C. quinoa</i> Ames 22156	Chile	1.60	85.55	1.93	3.51	17.21	1.21	5.03
<i>C. quinoa</i> Ames 13762	Nueva Mexico, USA	4.31	136.44	1.83	2.75	35.21	0.94	8.50
<i>C. quinoa</i> PI 614881	Jujuy, Argentina	3.01	114.22	2.05	2.94	24.16	1.34	8.25
<i>C. quinoa</i> PI 510537	Peru	1.44	136.00	1.78	2.71	13.02	1.32	4.39
<i>C. quinoa</i> PI 510547	Peru	2.08	68.92	1.82	3.13	12.67	1.33	4.70
<i>C. quinoa</i> Ames 22158	Chile	3.85	40.29	1.95	3.17	12.70	1.18	4.85
<i>C. quinoa</i> PI 510536	Peru	1.79	21.03	1.93	2.34	1.38	1.28	0.67
<i>C. quinoa</i> PI 478410	La Paz, Bolivia	0.90	118.33	1.80	2.63	29.00	0.43	3.13
<i>C. quinoa</i> PI 433232	Chile	4.54	74.22	1.77	2.28	13.11	1.09	3.56
<i>C. quinoa</i> Ames 21909	Oruro, Bolivia	2.12	132.22	1.83	3.31	15.97	1.15	9.08
<i>C. berlandieri</i> subsp. <i>nutalliae</i> PI 568155	Mexico	6.47	114.78	1.58	1.28	28.94	0.26	2.01
<i>C. berlandieri</i> subsp. <i>nutalliae</i> PI 568156	Mexico	4.77	103.39	1.65	1.37	15.05	0.65	2.32
Medio		2.64	88.59	1.84	2.69	16.37	1.01	4.06
±S.E.		±0.24	±7.81	±0.03	±0.15	±2.24	±0.06	±0.52
CD (5%)		0.49	15.99	0.06	0.30	4.58	0.12	1.06
CD (1%)		0.66	21.57	0.08	0.41	6.18	0.17	1.43
CV		49.62	47.48	11.41	31.97	73.85	32.16	68.34

La proteína de las semillas en las líneas varió de 12,55 a 21,02% con un promedio de  $16,22 \pm 0,47\%$ , mientras que el carotenoide de las semillas estuvo en el rango de 1,69-5,52 mg/kg con un promedio de  $2.83 \pm 0,16$  mg/kg (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Rendimiento promedio de 29 líneas para 4 caracteres cualitativos en *Chenopodium* (Tomado de Bhargava et al. 2007, con permiso de Elsevier)

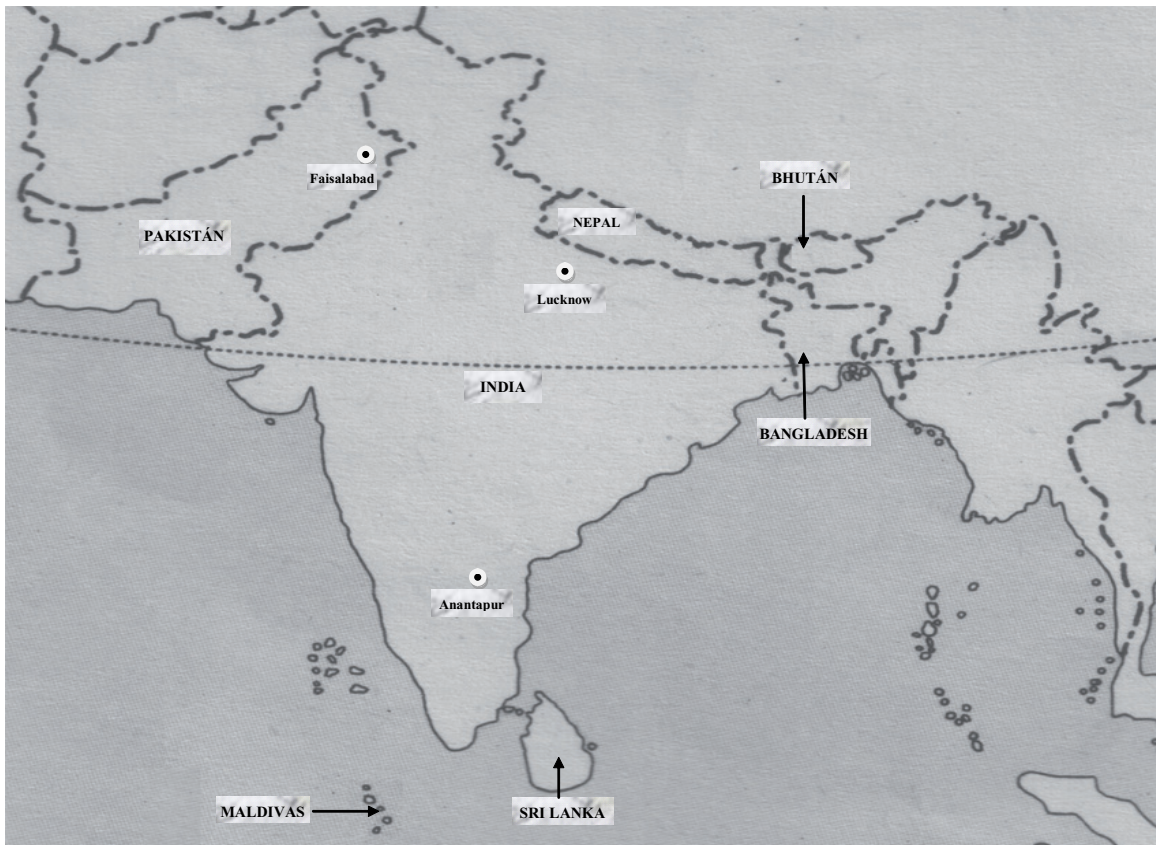
Líneas de germoplasma	Origen	Clorofila total (mg/g)	Carotinoides foliares (mg/kg)	Carotenoides de la semilla (mg/kg)	Proteína de la semilla (%)
<i>C. quinoa</i> CHEN 58/77	-	1.03	389.83	1.73	13.22
<i>C. quinoa</i> CHEN 67/78	Puno, Peru	1.70	531.03	3.12	21.02
<i>C. quinoa</i> CHEN 71/78	Bolivia	1.82	534.80	3.15	19.37
<i>C. quinoa</i> CHEN 33/84	-	0.55	230.23	1.69	16.92
<i>C. quinoa</i> CHEN 84/79	Cuzco, Peru	1.12	414.73	2.30	18.84
<i>C. quinoa</i> CHEN 92/91	Columbia	1.68	521.83	2.00	13.93
<i>C. quinoa</i> CHEN 7/81	-	1.92	632.40	3.30	17.31
<i>C. quinoa</i> PI 614938	Oruro, Bolivia	1.16	338.23	2.84	17.83
<i>C. quinoa</i> PI 478408	La Paz, Bolivia	1.19	330.03	2.74	15.23
<i>C. quinoa</i> PI 478414	La Paz, Bolivia	1.86	588.23	3.88	17.86
<i>C. quinoa</i> PI 596498	Cuzco, Peru	1.65	551.07	2.68	15.09
<i>C. quinoa</i> Ames 13219	La Paz, Bolivia	1.32	421.03	2.02	12.55
<i>C. quinoa</i> Ames 13719	Nueva Mexico, USA	1.36	466.13	1.75	17.71
<i>C. quinoa</i> PI 587173	Jujuy, Argen- tina	1.85	580.43	3.86	14.66
<i>C. quinoa</i> PI 510532	Peru	1.34	483.13	2.06	14.51
<i>C. quinoa</i> PI 614883	Jujuy, Argen- tina	1.25	434.67	3.15	19.48
<i>C. quinoa</i> PI 584524	Chile	2.04	669.56	2.87	13.01
<i>C. quinoa</i> Ames 22156	Chile	1.86	611.83	2.81	14.24
<i>C. quinoa</i> Ames 13762	Nueva Mexico, USA	1.60	519.90	2.08	15.47
<i>C. quinoa</i> PI 614881	Jujuy, Argen- tina	1.42	481.23	3.33	13.89
<i>C. quinoa</i> PI 510537	Peru	1.59	511.77	3.82	19.78
<i>C. quinoa</i> PI 510547	Peru	1.22	416.30	2.35	20.43
<i>C. quinoa</i> Ames 22158	Chile	1.06	414.63	2.40	16.09
<i>C. quinoa</i> PI 510536	Peru	1.09	371.80	2.84	20.39
<i>C. quinoa</i> PI 478410	La Paz, Bolivia	1.43	480.07	1.97	13.08
<i>C. quinoa</i> PI 433232	Chile	1.51	479.47	2.13	14.23
<i>C. quinoa</i> Ames 21909	Oruro, Bolivia	1.55	504.07	3.15	16.20
<i>C. berlandieri</i> subsp. <i>nuttalliae</i> PI 568155	Mexico	1.17	601.90	5.52	13.28
<i>C. berlandieri</i> subsp. <i>nuttalliae</i> PI 568156	Mexico	1.20	528.50	4.73	14.82
Medio		1.43	484.09	2.83	16.22
±S.E.		+0.06	+18.37	+0.16	+0.47
CD (5%)		0.12	37.62	0.32	0.96
CD (1%)		0.16	50.75	0.44	1.29
CV		23.07	20.42	31.80	15.90

El contenido de carotenoides en las hojas varió entre 230,23 mg/kg a 669,56 mg/kg y fue comparativamente mayor que el encontrado en las semillas. El contenido de carotenoides de hoja fue mayor que el reportado para la espinaca, el amaranto y para *Chenopodium album* (Gupta y Wagle, 1988; Prakash y Pal, 1991; Shukla et al., 2003; Bhargava et al., 2006b). Setenta por ciento de las líneas con un alto contenido de carotenoides en las hojas también tenían un alto contenido de carotenoides en las semillas. El contenido de proteína en la quinua fue mayor en comparación con los cereales más utilizados y comparó favorablemente con otros cultivos subutilizados como *Amaranthus* (Bressani et al., 1987; Shukla et al., 2004, 2005b), *Fagopyrum* (Steadman et al., 2001) e incluso algunas leguminosas subutilizadas como *Cassia floribunda* (Vadivel y Janardhanan, 2001). La gran cantidad de proteína de la semilla del cultivo indica su potencial como fuente de proteína de bajo costo para erradicar la desnutrición proteica en los países en desarrollo como la India, donde los bajos ingresos restringen el consumo de carne y legumbres por gran parte de la población. La quinua podría ser de enorme utilidad para la obtención de concentrados de proteína de alta calidad para resolver el problema de la desnutrición crónica que afecta a las poblaciones urbanas y rurales en los países en desarrollo. Una evaluación del potencial de rendimiento de semilla del cultivo mostró que 41% de las accesiones fueron de alto rendimiento. Las accesiones de origen chileno y de los Estados Unidos mostraron una mayor adaptabilidad a las condiciones del norte de India (Bhargava et al., 2007). Se sugirió que la quinua puede servir como un cultivo de invierno alternativo para las llanuras del norte de India y otras regiones subtropicales con similares condiciones edáficas y agro-climáticas (Bhargava et al., 2007). Así, la quinua tiene el potencial para desempeñar un papel fundamental en la futura diversificación de los sistemas agrícolas en la India, no sólo en las altitudes elevadas de la región del Himalaya como un cultivo de verano, sino también en las llanuras del norte de India.

Pakistán, situado entre 24,53°N' y 67.00°E' y 35.44°N' y 74.37°E' y con menos de 240 mm de

precipitación y 1066 m<sup>3</sup> de disponibilidad de agua per cápita anual se clasifica entre los países del mundo con un alto estrés hídrico (FAOSTAT, 2008; Munir 2011). El país tiene una alta proporción de suelos afectados por la sal, con casi un tercio del total de la tierra cultivada del país teniendo suelos o salinos, o sódicos salinos o sódicos (Khan, 1998). Grandes extensiones de suelos afectados por la sal, significativas superficies de tierras cultivables baldías, agua de riego marginal o salobre, fuentes inciertas de riego dependientes del clima, caminos fértiles pobres y las adversidades climáticas han conducido a una reducción significativa en el rendimiento de los cultivos en Pakistán (Gobierno del Pakistán, 2009; Munir 2011). Cultivos resistentes al clima y sistemas de cultivo a prueba del clima son terminologías emergentes basadas en cultivos que son altamente elásticos que pueden ser cultivados en climas bruscamente cambiantes (Munir 2011). Como en otras partes del Asia del sur, cultivos como la quinua son necesarios no sólo para evitar las pérdidas sino también para producir suficiente grano para satisfacer las necesidades alimenticias bajo condiciones desfavorables (Munir 2011).

La quinua fue introducida en Pakistán el 2007 en el Punjab central para minimizar la dependencia de las masas en alimentos convencionales (Munir et al., 2012). En Pakistán, este cultivo ha sido cultivado con éxito en granjas experimentales en Faisalabad, Chakwal y Bahawalpur. La Universidad de Agricultura, Faisalabad ha dado pasos gigantes para que la producción de este cultivo sea una realidad en Pakistán (Figura 1). La Universidad, situada a una altitud de 184 metros sobre el nivel del mar en una región con clima subtropical, tiene suelos con una rica textura franco y franco-arenosa. Aquí se ha obtenido un rendimiento de grano de hasta 2700 kg por hectárea y está aumentando con el paso del tiempo y una mejor comprensión de las prácticas para su producción (comunicación Personal).



**Figura 1.** Mapa que muestra los países del subcontinente indio y sitios de los ensayos de campo de la quinua

La experimentación continua con la quinua en Pakistán ha demostrado que las accesiones de quinua mostraron una variación en su rendimiento de semilla con respecto a cambios en el ambiente de crecimiento con algunas accesiones exhibiendo buena estabilidad en el nuevo entorno. Las accesiones de estatura baja de origen danés establecen semillas en el menor tiempo, mientras que las accesiones chilenas desde cerca del nivel del mar dieron semillas por la mayor parte viables y con un ciclo de vida de duración media. El balance fiscal mostrando un coeficiente de rentabilidad ha demostrado que la quinua tiene el potencial para ser introducida en la región como un nuevo cultivo comercial y puede ser una buena opción para los agricultores con pequeños terrenos (Munir et al., 2012). Por lo tanto, quinua podría ser un importante nuevo cultivo para la agricultura de Pakistán, proporcionando alimentos altamente nutritivos y versátiles para la población y una nueva materia prima para la industria. Su cultivo es factible especialmente en los ambientes marginales afligidos

por el estrés hídrico o salino, que actualmente sufren de muy baja productividad (Jacobsen et al., 2002). Este cultivo puede ser particularmente interesante para las áreas del norte de Pakistán donde la agricultura convencional es difícil debido a la pérdida de suelo fértil y la inexistencia de cultivos adecuados para mejorar la economía agrícola. Su adaptación al invierno severo ayudaría a aliviar la pobreza en esas áreas. También puede ayudar a mejorar la producción de alimentos en las montañas secas occidentales de Baluchistán donde las tierras degradadas y los decrecientes recursos de agua subterránea obstaculizan gravemente la producción de muchos cultivos. Así, la evaluación de la quinua en Pakistán ha demostrado que es potencialmente un cultivo tolerante a la sequía y la salinidad con una amplia gama de adaptabilidad bajo diferentes condiciones climáticas de la provincia de Punjab de Pakistán y puede recomendarse para el cultivo general después del desarrollo de su tecnología de producción completa (Munir 2011).

**Estado actual en el subcontinente indio.**



El cultivo de la quinua está aumentando cada vez más en el subcontinente indio. El cultivo se ha desarrollado con éxito en un distrito propenso a la sequía -Anantapur en Andhra Pradesh bajo una iniciativa llamada 'Proyecto Ananta' (Deccan Chronicle 2013; The Times of India, 2013). Se ha encontrado que la quinua se adecúa muy bien a las condiciones climáticas del distrito de Anantapur. El cultivo fue cultivado en el laboratorio en febrero de 2013 y pequeños vástagos fueron trasplantados en marzo. Desde entonces el crecimiento ha sido fenomenal, y a pesar del severo verano, el cultivo ha producido grano. El período de tiempo desde plántulas a la madurez fue de aproximadamente 150 días (Deccan Chronicle 2013). La semilla, suministrada por el Ministerio de agricultura a la AMR-Andhra Pradesh Academia de Desarrollo Rural (AMR-APARD) y cultivada en parcelas de 'demostración', ha resultado ser una buena alternativa al maní, el cultivo de cual se está deteriorando en el distrito debido a la progresiva disminución de las precipitaciones. El AMR-APARD, situado en Hyderabad, Andhra Pradesh, India, ha trabajado sin descanso para fortalecer las capacidades para el desarrollo sostenible de la población rural pobre por más de 54 años. La perspectiva de la quinua en el sur de la India también se está explorando en otras áreas. Un número de compañías privadas están planeando el cultivo extenso de la quinua en el estado de Tamil Nadu, Gujarat y Rajasthan en los campos de agricultores (comunicación personal). Humana People to People India planea introducir la quinua en Uttar Pradesh central para beneficiar a los agricultores marginales. Se espera ansiosamente ver los resultados detallados y el rendimiento de la quinua en los campos de los agricultores.

### **Usos y Mercados.**

La demanda de la quinua está aumentando en muchas partes de la India pero se esta importado a altos precios. En el estado de Andhra Pradesh, el grano de quinua se vende a un precio de casi Rs. 1.500 el kilo. 'Organic Quinoa' con sede en Bangalore India, está comercializando la quinua en Rs. 595 por 500g. Su exitoso cultivo durante ensayos experimentales ha demostrado posibilidades de buen rendimiento que podrían traer un buen precio para los agricultores locales. Asimismo en Pakistán, está creciendo la demanda por este cultivo mágico

pero su disponibilidad es menor debido al alto costo. Su cultivo apropiado en estos países puede reducir drásticamente el costo de la quinua y hacerla disponible para la gente común. Además, los agricultores marginales pueden beneficiarse mediante la exportación de quinua a los países donde hay una gran demanda por este grano. Así que, en pocas palabras esto podría significar una doble ganancia para los agricultores.

### **Difusión de la quinua en Asia del sur.**

La disponibilidad de información siempre ha sido una restricción importante en la promoción de especies subutilizadas (Padulosi et al. 2002). Los principales factores que impiden el desarrollo de cultivos subutilizados incluyen la falta de conocimiento de la genética de características cualitativas y agronomía, bajo interés de los agricultores que tienen miedo de los riesgos implicados en el cultivo, la falta de mercado, así como la falta de experiencia junto con insuficientes recursos financieros (Polok et al. 2008). En Asia del sur, los agricultores son menos entusiastas acerca de nuevos cultivos y muestran interés sólo cuando la cosecha les asegura una alta rentabilidad. También un gran número de agricultores practican la agricultura de subsistencia en donde crecen cultivos de cereales sólo para uso personal. Para popularizar la quinua en esta región se debe dar prioridad a los siguientes puntos:

- (i) Iniciación de la investigación participativa en todos los aspectos del cultivo, lo mas importante siendo la estabilidad del cultivo y la selección de genotipos adaptados a diferentes condiciones agroclimáticas.
- (ii) Promoción del interés de los agricultores en la quinua mediante la difusión de información acerca de los beneficios del cultivo para los productores en términos de generación de ingresos y seguridad alimentaria.
- (iii) Divulgación de información detallada a los agricultores con respecto a las prácticas de cultivo, agronomía y patología de la cosecha. Además, compartir información acerca del alcance de su cultivo, sus requisitos agronómicos, usos y valores locales, y su contribución a la seguridad alimentaria local y la sostenibilidad ambiental podría contribuir considerablemente para mejorar el uso del cultivo en nuevas áreas.

(iv) Proporcionar a los agricultores semillas de calidad gratuitas o subvencionadas en los primeros años para que los agricultores no sientan el peso de seleccionar el germoplasma que mejor se adecue a las condiciones locales.

(v) Proporcionar comercialización adecuada del cultivo en donde la producción se recoge desde los campos del agricultor, al menos en los primeros años hasta que un mecanismo adecuado esté establecido. Las agencias gubernamentales pueden desempeñar un papel importante en esta región en el logro de este objetivo. Pueden configurar alianzas estratégicas con agencias u organizaciones que tienen experiencia en la comercialización, procesamiento y desarrollo de productos de la quinua. Una mejor comercialización puede traducirse en mayores oportunidades para la generación de ingresos por los agricultores marginales, quienes se pueden beneficiar enormemente mediante la producción de este cultivo.

(vi) Inclusión de la quinua en planes de seguros de cosechas que se encuentran en existencia en la India para cultivos seleccionados. Esto podría infundir confianza entre los productores para que el cultivo de la quinua sea considerado como un asunto menos riesgoso.

(vii) Mejorar la conciencia pública y suscitar el interés en la quinua es de principal preocupación para crear un ambiente favorable para su producción y uso sostenido. Esto debería implicar un esfuerzo coordinado del gobierno, instituciones de investigación, el sector privado y los usuarios donde el público, así como los productores, deben ser conscientes de los beneficios que surgen de un uso más amplio de este cultivo.

### Conclusiones.

La quinua disfruta de altas ventajas adaptativas bajo situaciones agroecológicas y edáficas marginales. De esta manera, puede mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de las comunidades locales, y aumentar sus ingresos en la región del sur de Asia. El cultivo tiene un gran potencial para aliviar el hambre y la malnutrición en el subcontinente indio mediante el aumento de la producción de alimentos en ambientes desafiantes, donde la producción de los principales cultivos está severamente limitada. Sin embargo, esto podría lograrse a través de un esfuerzo integrado en todos

los niveles, es decir: información, sensibilización, divulgación, investigación y comercialización.

### Referencias.

Aggarwal, P.K., Joshi, P.K., Ingram, J.S.I., Gupta, R.K., (2004). Adapting food systems of the Indo-Gangetic plains to global environmental change: key information needs to improve policy formulation. *Environ. Sci. Pol.* 7: 487–498.

Bakshi, D.N.G., Sensarma, P. y Pal, D.C. (1999). *A Lexicon of Medicinal Plants of India*, Naya Prakash, Calcutta.

Bala Ravi S., Hoeschle-Zeledon I., Swaminathan M.S. y Frison E. (2006). *Hunger and Poverty: The Role of Biodiversity*. M.S. Swaminathan Research Foundation and IPGRI, India and Rome, pp. 232.

Bala Ravi, S., Hrideek, T.K., Kishore Kumar, A.T., Prabhakaran, T.R., Bhag Mal & Padulosi, S. (2010). Mobilizing neglected and underutilized crops to strengthen food security and alleviate poverty in India. *Ind. J. Plant Genet. Res.* 23: 110–116.

Balfour, E (1976). *Encyclopaedia Asiatica: Comprising Indian Subcontinent, Eastern and Southern Asia*. Cosmo Publications, New Delhi.

Bazile D., Fuentes F. y Mujica A. (2013) Historical Perspectives and Domestication. *In: Quinoa: Botany, Production & Uses*. A. Bhargava, S. Srivastava (ed). CABI Publisher, Wallingford, UK. pp. 16-35. ISBN: 9781780642260.

Bermejo, J.E.H. y León, J. (1994) Neglected crops-1492 from a different perspective. *FAO Plant Production and Protection Series No. 26*, FAO, Rome, Italy.

Bhargava, A., Shukla, S. and Ohri, D. (2005a) Medicinal uses of *Chenopodium*- a review. *J. Med. Arom. Plant Sci.* 27: 309–319.

Bhargava, A., Rana, T.S., Shukla, S. y Ohri, D. (2005b) Seed protein electrophoresis of some Cultivated and wild species of *Chenopodium* (Chenopodiaceae). *Biologia Plantarum* 49: 505–511.

Bhargava A., Shukla S. and Ohri D. (2006a). *Chenopodium quinoa*- an Indian perspective. *Industrial Crops and Products* 23: 73-87.

Bhargava, A., Shukla, S., Dixit, B.S., Bannerji, R., Ohri, D., (2006b). Variability and genotype x cutting interactions for different nutritional components in

*C. album* L. Horticultural Science 33: 29-38.

Bhargava A., Shukla S. y Ohri D. (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Field Crops Research 101: 104-116.

Bhargava A., Shukla S. y Ohri D. (2008a). Genotype x environment interaction studies in *Chenopodium album* L.: an underutilized crop with promising potential. Communications in Biometry and Crop Science 3: 3-15.

Bhargava A., Shukla S., Srivastava J., Singh N. y Ohri D. (2008b). *Chenopodium*- a prospective plant for phytoextraction. Acta Physiologia Plantarum 30: 111-120.

Bhargava A., Shukla S., Srivastava J., Singh N. y Ohri D. (2008c). Genetic diversity for mineral accumulation in foliage of *Chenopodium* spp. Scientia Horticulturae 118: 338-346.

Bressani, R., Gonzales, J.M., Zuniga, J., Brauner, M., Elias, L.G., (1987). Yield, selected composition and nutritive value of 14 selections of amaranth grain representing four species. J. Sci. Food Agric. 38: 347-356.

Chapman G.P. y Baker K.M. (2002) *The changing geography of Asia*. Taylor & Francis, Nueva York.

Deccan Chronicle. (2013). Miracle grain ideal for Andhra Pradesh. Deccan Chronicle. August 26, 2013.

DEFRA [Department for Environment, Food and Rural Affairs]. (2005). Climate change scenarios for India. Investigating the impacts of climate change in India. Defra, Londres, Reino Unido.

FAO (1996). El Plan de Acción Mundial para la Conservación y Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación (RFAA), aprobada por la Conferencia Técnica Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos (Leipzig, Alemania. Junio 17-23, 1996). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia.

FAOSTAT. (2008). <http://www.fao.org/economic/ess/publications-studies/statistical-yearbook/fao-statistical-yearbook-2007-2008/g-human-welfare/en/>.

Fuentes F.F. y Bhargava A. (2011). Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 124-134.

Gobierno. de Pakistan. (2009). Economic Survey of Pakistan. 2008-09. Ministro de Hacienda, Gobierno de Pakistan, 2: 17-19.

Gómez-Pando, L. R., R. Alvarez-Castro, y A. Eguluz-De La Barra, (2010): Effect of salt stress on Peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: a promising crop. J. Agron. Crop Sci. 196: 391-396.

Gupta, K., Wagle, D.S., (1988). Nutritional and antinutritional factors of green leafy vegetables. J Agric. Food Chem. 36, 472-474.

Hammer K., Heller J. y Engels J. (2001). Monographs on underutilized and neglected crops. Genet. Res. Crop Evol. 48: 3-5.

Hawtin, G. (2007). Underutilized plant species research and development activities—review of issues and options. GFU/ICUC. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia.

Heywood, V. (1999). Use and potential of wild plants in farm households. FAO Farm System Management Series No. 15. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia. pp. 113.

Holm, L., Plunknett, D.L., Pancho, J.V., Herberger, J.P. (1977). The World's Worst Weeds. Distribution and Biology. Univ. Press of Hawaii, Honolulu.

Hickey, M. y King, C. (1988). 100 Families of Flowering Plants. Cambridge University Press, Cambridge.

Hughes, J. (2009). Just famine foods? What contribution can underutilized plants make to food security? Acta Horticulturae 806: 39-47.

IPGRI. (2002). Neglected and Underutilized Plant Species: Strategic Action Plan of the International Plant Genetic Resources Institute. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia.

Jacobsen, S.E., (1998). Developmental stability of quinoa under European conditions. Ind. Crops Prod. 7, 169-174.

Jacobsen, S.E., Stolen, O., (1993). Quinoa-

morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *Eur. J. Agron.* 2, 19-29.

Jacobsen, S.-E., Hollington, P.A. and Hussain, Z. (2002) Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), a potential new crop for Pakistan. In: Ahmad, R. and Malik, K.A. (eds.) *Prospects for Saline Agriculture*. CAB International, Reino Unido.

Jacobsen, S.-E., Mujica, A. y Jensen, C.R. (2003) The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International* 19: 99–109.

Joshi, B.D. (1991). Genetic resources of leaf and grain *Amaranthus* and chenopod. In: M.S. Swaminathan and S. Jana (Eds.), *Biodiversity*. pp. 121-134. Macmillan India Ltd., Madras.

Khan, G.S. (1998). Soil salinity/sodicity in Pakistan. *Soil survey of Pakistan*. p 39.

Kirtikar, K.R. and Basu, B.D. (2001). *Indian Medicinal Plants* (Vol. 9), Oriental Enterprises, Dehradun.

Kumar A., Bhargava A., Shukla S., Singh H.B. y Ohri D. (2006). Screening of exotic *Chenopodium quinoa* accessions for downy mildew resistance under mid-Eastern conditions of India. *Crop Protection* 25: 879-889.

Mahyao, A., Kouame, C., Agbo, E., N'zi, J.C., Fondio, L. & Van Damme, P. (2009). Socio economic importance of urban markets supply chains of indigenous leafy vegetables in Cote d'Ivoire. En: H. Jaenicke, J. Ganry, I. Hoeschle-Zeledon and R. Kahane (editores). *International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development*. Arusha, Tanzania, January 2009. *Acta Horticulturae*, 806: 489–496.

Mayes S., Massawe F.J., Alderson P.G., Roberts J.A., Azam-Ali S.N. y Hermann M. (2012). The potential for underutilized crops to improve security of food production. *J. Exp. Botany* 63: 1075-1079.

Munir H. (2011) Introduction and assessment of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a potential climate proof grain crop. Tesis de doctorado. University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.

Munir, H., Sehar, S., Basra, S.M.A., Jacobsen, H.-J. y Rauf, S. (2012) Growing quinoa in Pakistan as a potential alternative for food security. In: *'Resilience*

*of Agricultural Systems Against Crises'*, September 19-21, 2012, Göttingen-Kassel/Witzenhausen, Alemania.

Mwangi, S. y Kimathi, M. (2006). African leafy vegetable evolves from underutilized species to commercial cash crop. *Research Workshop on Collective Action and Market Access for Smallholders*. Cali, Colombia.

Padulosi S., Hodgkin T., Williams J.T. y Haq N. (2002). Underutilized crops: trends, challenges and opportunities in the 21<sup>st</sup> Century. En: Engels J.M.M., Rao V.R., Brown A. and Jackson M. (Eds), *'Managing Plant Genetic Resources'* CABI-IPGRI, pp. 323–338.

Padulosi, S., Heywood, V., Hunter, D. & Jarvis, A. (2011). Underutilized Species and Climate Change: Current Status and Outlook. En: Yadav, S.S., Redden R.J. y Hatfield J.L. (Eds). *Crop Adaptation to Climate Change*. Blackwell Publishing Ltd, Reino Unido. pp. 507–521.

Partap, T. (1990). Exploiting underexploited crop plants of mountain agriculture: Chenopods. En: Riley, K.W., Mateo, N., Hawtin, G.C., Yadav, R.P. (Eds.), *Mountain Agriculture and Crop Genetic Resources*, Oxford y IBH, Nuva Delhi.

Partap, T., Kapoor, P. (1985). The Himalayan grain chenopods I. Distribution and ethnobotany. *Agric. Ecosyst. Environ.* 14, 185-199.

Partap, T., Kapoor, P. (1987). The Himalayan grain chenopods III. An under-exploited food plant with promising potential. *Agric. Ecosyst. Environ.* 19, 71-79.

Partap, T., Joshi B.D. and Galwey, N.W. (1998). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 22. *International Plant Genetic Resources Institute*, Roma, Italia.

Polok K., Korniak T. y Zielinski R. (2008) Contribution of molecular genetics for new crops development. En: Smartt J. and Haq N. (Eds.) *New Crops and Uses: Their Role in a Rapidly Changing World*. University of Southampton, Southampton, Reino Unido. pp. 36-56.

Prakash D. y Pal M. (1991). Nutritional and anti nutritional composition of vegetable and grain amaranth leaves. *J. Sci. Food Agric.* 57: 573 -583.

Prescott-Allen R. y Prescott-Allen C. (1990). How many plants feed the world? *Conservation Biology*



4: 365–374.

Roxburgh, W., (1832). *Flora Indica: Description of Indian Plants*. Vol. II. W. Thacker & Co., Calcutta with Allen & Co., Londres.

Saini H.S. (2008). Climate change and its future impact on the Indo-Gangetic plain (IGP). *e-Journal Earth Science* 1: 138-147.

Shukla S., Pandey V., Pachauri G., Dixit B.S., Bannerji R. y Singh S.P. (2003). Nutritional contents of different foliage cuttings of vegetable amaranth. *Pl. Foods Hum. Nutr.* 58: 1-8.

Shukla S., Bhargava A., Chatterjee A. y Singh S.P. (2004). Estimates of genetic parameters to determine variability for foliage yield and its different quantitative and qualitative traits in vegetable amaranth (*A. tricolor*). *J. Genet. Breed.* 58: 169-176.

Shukla A.K., Sharma S.K., Tiwari R. y Tiwari K.N. (2005a). Nutrient depletion in the rice-wheat cropping system of the Indo-Gangetic Plains. *Better Crops* 89: 28-31.

Shukla S., Bhargava A., Chatterjee A., Srivastava A. and Singh S.P. (2005b). Estimates of genetic variability in vegetable amaranth (*A. tricolor*) over different cuttings. *Hortic. Sci.* 32: 60-67.

Shukla S., Bhargava A., Chatterjee A., Pandey A.C. y Mishra B.K. (2010). Diversity in phenotypic and nutritional traits in vegetable amaranth (*Amaranthus tricolor*), a nutritionally underutilized crop. *Journal of the Sciences of Food and Agriculture* 90: 139-144.

Singh, V.K., Govil, J.N., Hashmi, S. y Singh, G. (2003). *Recent Progress in Medicinal Plants* (Vol. 7) *Ethnomedicine and Pharmacognosy II*. Stadium Press, LLC, USA.

Steadman K.J., Burgoon M.S., Lewis B.A., Edwardson S.E. y Obendorf R.L. (2001). Buckwheat seed milling fractions: description, macronutrient composition and dietary fibre. *J. Cereal Sci.* 33: 271-278.

Thies E. 2000. Promising and Underutilizing Species Crops and Breeds. *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH*, Eschborn, Alemania.

Thomson, T., (1852). *Western Himalayas and Tibet*. Ratna Pustak Bhandar, Kathmandu, Nepal.

The Times of India (2013). Quinoa holds hopes for dry Anantapur. *The Times of India*. Junio 2, 2013.

Vadivel, V., Janardhanan, K., (2001). Nutritional and anti-nutritional attributes of the under-utilized legume, *Cassia floribunda* Cav. *Food Chem.* 73: 209-215.

Wilson, H.D. (1990). Quinoa and relatives (*Chenopodium* sect. *Chenopodium* subsect. *Cellulata*. *Econ. Bot.* 44: 92-110.

## SUB PARTE 6.3. ÁFRICA

### CAPÍTULO: 6.31

## TÍTULO: EVALUACIÓN DE QUINUA (*CHENOPODIUM QUINUA* WILLD.) Y ADAPTACIÓN A LAS CONDICIONES AGROCLIMÁTICAS DE MALI, ÁFRICA OESTE: UN EJEMPLO DE COLABORACIÓN SUR-NORTE-SUR

\*Autores para correspondencia: Amadou K. COULIBALY <[akonotie@yahoo.fr](mailto:akonotie@yahoo.fr)>; Enrique A. MARTÍNEZ <[enrique.a.martinez@ceaza.cl](mailto:enrique.a.martinez@ceaza.cl)>  
COULIBALY, A.K.<sup>a\*</sup>, SANGARE, A.<sup>a</sup>, KONATE, M. <sup>a</sup>, TRAORE, S. <sup>a</sup>, RUIZ, K.B.<sup>b</sup>, MARTINEZ, E. A.<sup>b\*</sup>, ZURITA, A.R.<sup>b,e</sup>, ANTOGNONI, F.<sup>c</sup>, BIONDI, S.<sup>c</sup>, MALDONADO, S.<sup>d</sup>, LEON, P.<sup>e</sup>, BAZILE, D.<sup>f</sup>

<sup>a</sup> IPR/IFRA de Katibougou, Mali

<sup>b</sup> CEAZA, La Serena (Chile)

<sup>c</sup> Departamento de Botánica -Universidad de Bologna (Italia)

<sup>d</sup> Departamento de Biología Universidad de Buenos Aires (Argentina)

<sup>e</sup> INIA-Intihuasi, Banco Base de Vicuña, La Serena, (Chile)

<sup>f</sup> UPR GREEN, CIRAD, TA 47/C/ Campus International de Baillarguet, Montpellier (France)

### Resumen.

La adaptación de quinua en Mali, África del Oeste, se probó dada la similitud de las condiciones agroclimáticas estresantes con el centro-norte de Chile. Las variedades campesinas usadas fueron en su mayoría de Chile (A64, BO25, BO78, PRP, PRJ, UDeC9, R49, VI-1, Regalona, Mix) más dos cultivares de cosechas Argentinas (Roja Tastina y Sajama, variedad Boliviana) y uno más proveniente de Bolivia. Los ensayos comenzaron en el 2007 y se han extendido hasta el presente. Se probaron siembras en temporada de lluvias (junio a octubre) y en temporada seca (noviembre a marzo). Se evaluaron plagas, enfermedades y rendimientos considerando las condiciones ecológicas de almacenamiento de granos y manejos más sustentables del suelo (compost). Algunos cultivares altiplánicos resultaron recalcitrantes (A64, R49 y MIX) mientras que se tuvo rendimientos más aceptables (1-2 Ton/

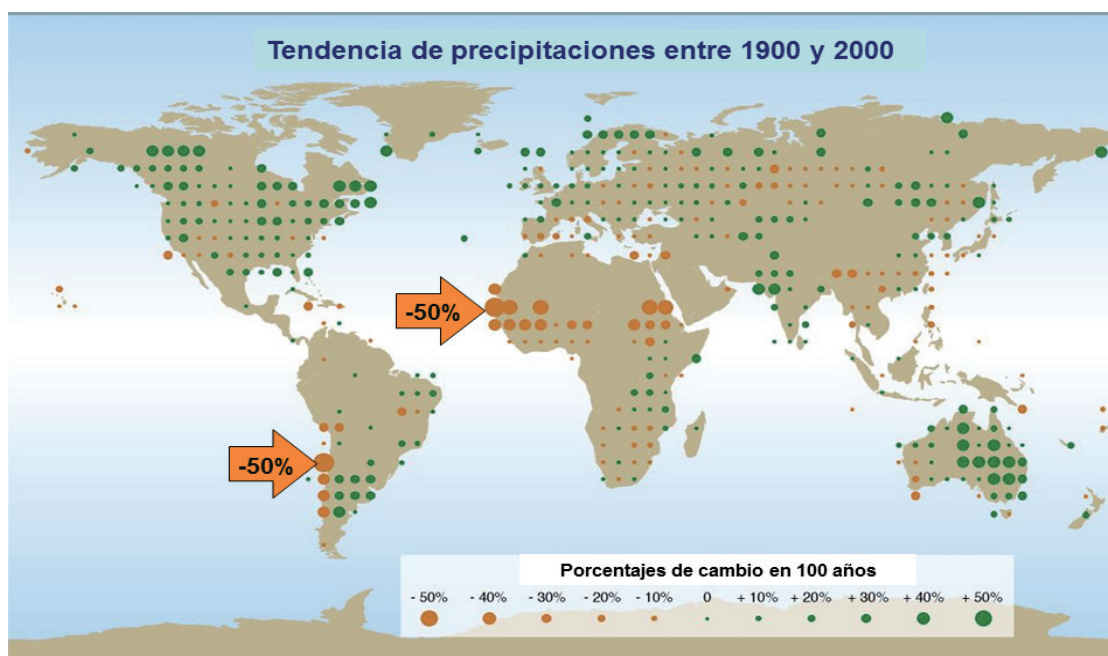
ha) para las variedades campesinas del centro-sur de Chile. Las semillas deben idealmente sembrarse cada estación para evitar degradación de su vigor a la germinación por la humedad ambiental y altas temperaturas debido a condiciones naturales para la conservación *in situ* en zonas tropicales. El ciclo de cultivo puede ser desde 90-100 días para las accesiones de Chile, hasta 108-119 días para las accesiones de Argentina. Las panojas pueden ser atacadas por hongos que deciman la producción en la estación de lluvias. Se nota también la presencia de insectos fitófagos que pertenecen a los géneros *Bemisia*, *Aphis*, y *Aspavia*, mientras que Coccinélidos depredan sobre éstos, como control biológico. La quinua mejoraría la oferta proteica de alta calidad en África. Posibles plagas en temporadas húmedas, ataques de insectos son tal vez controlables con manejos ecológicos, usando saponinas de las mismas quinuas. Limitante será la energía para usar aguas no fácilmente disponibles en la estación

seca y para el desaponificado mecánico. El uso y aceptación por la población puede estimarse alto dada la experiencia de introducción de otros cultivos de América (papas, maíz, tomates) en este continente y la similitud culinaria con el mijo y el arroz.

### Contexto y problemáticas al introducir quinua en esta parte del mundo.

África está entre las regiones del mundo con mayores problemas de nutrición donde la mayoría de los países presentan más del 20% de su población en desnutrición y donde la mortalidad infantil antes de los cinco años sobrepasa el 75%. En todo el cinturón del Sahel se estima que 1,1 millones de niños menores de 5 años estaban en 2012 en riesgo de desnutrición aguda grave. Por ello en abril, UNICEF lanzó SahelNOW, una campaña para crear conciencia mundial sobre la crisis inminente. Por primera vez en la historia, los Comités Nacionales y las oficinas de UNICEF

se unieron para participar en las redes sociales como medio principal de comunicación para la promoción y recaudación de fondos. La campaña movilizó a Embajadores de Buena Voluntad de UNICEF a nivel nacional y mundial para alertar al mundo sobre la convergencia de una serie de condiciones que amenazaban el estado nutricional de los niños en nueve países: Burkina Faso, Camerún, Chad, Gambia, Malí, Mauritania, Níger, Nigeria y Senegal. SahelNOW impulsó la cobertura en los medios de comunicación convencionales y fue considerada en CNN como una innovación. Los Comités Nacionales de UNICEF recaudaron 29,8 millones de dólares en 2012, lo que contribuyó a proporcionar tratamiento para salvar la vida a más de 920.000 niños gravemente desnutridos menores de 5 años (UNICEF 2013). Por otra parte el déficit crónico de lluvias en toda la región subsaheliana es de los mayores registrados en los estudios del Panel Internacional de Cambio Climático (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa del balance mundial de pluviometría (déficit/exceso en 100 años). El déficit mayor al 50% (flechas) en algunos lugares del área subsahariana es comparable al de Chile centro-norte (Región de Coquimbo). Fuente IPCC 2001.

La seguridad alimentaria de su población corresponde al principal objetivo de la agricultura de esta zona, así como la agricultura de subsistencia es la actividad principal en toda esta región, aunque se venden de forma regular algodón, maíz, maní, entre otros cultivos para generar ingresos a las familias. En el caso de Mali (África Oeste) cerca del 90% de la población vive de la producción de cereales, mayoritariamente de Sorgo, Mijo, Maíz y Arroz, cuyo rendimiento oscila en torno a 1 ton/ha (Soumaré *et al.* 2008). Además de la sequía, la duración de la estación de lluvias es muy variable. Los suelos son muy pobres y tienen factores limitantes respecto a ciertos elementos (Al, Fe) (Gigou, 1987; Gigou *et al.* 1998; Traoré *et al.* 2004).

Estas condiciones difíciles generan grandes fluctuaciones en las producciones anuales, mientras que hay que asegurarlas para una población con alta tasa de crecimiento. En este contexto la diversificación de la agricultura y el mejoramiento de los suelos se ven más próximas como herramientas para combatir estos problemas. Una agricultura agroecológica (Altieri 1995) propone una solución adaptada a la situación cuando otras alternativas más tecnológicas como los abonos químicos o la modificaciones genéticas son de alto costo para una población con capacidad limitada de financiamiento, considerando también que estas tecnologías aumentan el efecto de gases con efecto invernadero, no son sustentables y/o están lejos del alcance económico de los países en desarrollo (Anon. 2010).

En este contexto aparece el potencial de la quinua como una planta de alto valor nutritivo que además es tolerante a varios tipos de estrés abióticos. Así la introducción de la quinua podría ser una alternativa de diversificación de los sistemas de cultivos en muchos países (Glass & Johnson, 1974; Jacobsen, 2003; Jacobsen *et al.*, 2003) que comparten problemas de sequía, inseguridad alimentaria y de pobreza como los de Mali, razón por la cual la FAO declaró 2013 el Año Internacional de la Quinua (AIQ) justo un año antes del año 2014 que será el Año Internacional de la Agricultura Familiar.

Históricamente, para enfrentar condiciones de vida difíciles, los agricultores de África han sido siempre abiertos a la experimentación de nuevas variedades o cultivos para mejorar sus condiciones de vida (Chevassus-au-Louis y Bazile, 2008; Louafi *et al.* 2013). Los sistemas campesinos de semillas

fortalecen los intercambios entre campesinos para sostener esta capacidad permanente de introducción y experimentación de nueva agrobiodiversidad (Bazile *et al.* 2008; Coulibaly *et al.* 2008) aunque siempre el riesgo de pérdida de una parte de la biodiversidad local tiene que ser cuidadosamente evaluado (Bazile, 2006) antes de amplificar la producción.

### **Recuento histórico de las áreas de investigación y disciplinas involucradas durante el período 2006-2013.**

Durante al año 2006 se inició un estudio entre equipos de Italia, Argentina, Chile y Mali sobre los mecanismos de tolerancia de las quinuas chilenas al estrés por sal. Aunque el tema central era el descubrimiento de los mecanismos de tolerancia al estrés salino en *Chenopodium quinoa* (Willd.), los mismos genes también confieren tolerancia a otros estrés relacionados a la calidad y cantidad de agua disponible como son la sequía y las heladas (ver Capítulo 2.2 de este libro). La misión del equipo de Mali consistía realizar evaluaciones de campo sobre la adaptabilidad de variedades registradas y campesinas de quinua, particularmente para estudiar su tolerancia a las condiciones edafo-climáticas de Mali. Esta tarea comenzó en el año 2007 luego de que un investigador del Institut Polytechnique Rural (IPR) de Mali estuvo seis meses en Chile (CEAZA) y Argentina (Universidad de Buenos Aires e INTA) aprendiendo las nociones básicas de este cultivo de los Andes del Sur.

Los ensayos realizados en Mali a partir del 2007 involucran las pruebas de comportamiento de semillas de quinua provenientes de Chile y Argentina. Aprovechando la gran distancia geográfica entre el norte (18°S) y el sur austral (40°S) de Chile se utilizó variedades campesinas del cultivo que se han adaptado hace milenios a distintas combinaciones de fotoperíodo, de temperaturas y de lluvias lo que generó una gran diversidad genética al cultivo (Fuentes *et al.* 2012). De este modo hasta la fecha se han realizado pruebas agronómicas en ciclos de cultivo en estaciones secas y húmedas, agregando pruebas de conservación de semillas ambas actividades bajo protocolos agroecológicos que pretenden realizar una agricultura ecológicamente y económicamente más sustentable. Estudios paralelos en Chile, Italia y Argentina fueron realizados para evaluar las respuestas y mecanismos genéticos que otorgan gran tolerancia a distintos tipos de estrés a una parte de las mismas variedades campesinas ensayadas en Mali (Orsini *et al.* 2012; Ruiz-Carrasco *et al.* 2012).



### Recursos genéticos usados y su origen.

Hacia fines de 2007, al término de la estadía del Dr. Coulibaly en Sudamérica, 12 accesiones, de quinua de las cuales 10 chilenas y 2 de Argentina (Cuadro 1) fueron llevadas para las pruebas de adaptación a la zona soudano-saheliana de Mali, en las parcelas

experimentales del IPR/IFRA de Katibougou (75 km al nor-este de Bamako). Los ensayos se han ido sucediendo año en año hasta acumular resultados y semillas que les permiten continuar sus experiencia hasta nuestros días. En los ensayos en estación húmeda se agregó una variedad comercial no precisada (adquirida en el comercio europeo) de origen boliviano.

**Cuadro1.** Datos de pasaporte de las accesiones de quinua en evaluación en Mali.

Accesión	Origen	Grado de selección	Banco de semillas
A64	Norte altiplánico (Comuna de Colchane)	Por color de semillas (Amarillas)	Universidad Arturo Prat, Iquique
R49	Norte altiplánico (Comuna de Colchane)	Por color de semillas (Rojas)	Universidad Arturo Prat, Iquique
Mix	Norte altiplánico (Comuna de Colchane)	Sin selección	Universidad Arturo Prat, Iquique
PRP	Costa central de Chile (localidad de Palmilla, comuna de Pichilemu)	Sin selección	Colectas CEAZA para Banco Base INIA
PRJ	Costa central de Chile (Comuna de Pichilemu)	Sin selección	Colectas CEAZA para Banco Base INIA
VI-1	Centro de Chile (Comuna de Pichilemu)	Sin selección	Colectas CEAZA para Banco Base INIA
UdeC 9	Costa central de Chile (Comuna de Chanco)	Sin selección	Colecta Univ. de Concepción, Chillán
	Sur de Chile (Comuna de Cunco)	Sin selección	Banco AGROGEN, donación a INIA
BO25	Sur de Chile (Comuna de Collipulli)	Sin selección	Banco AGROGEN, donación a INIA
	Variedad híbrida	Sin selección	Semillas BAER
BO78	Variedad altiplánica (Bolivia/Argentina)	Sin selección	Banco Univ. De Buenos Aires, Argentina
La Regalona		Selección por mejor rendimiento y tamaño de grano	Banco Univ. De Buenos Aires, Argentina
Sajama		Bajo contenido de saponinas	
		Sin selección	
Roja Tastina			
Boliviana	Desconocido	Desconocido	Comercio Europeo

### Colaboraciones internacionales.

La colaboración internacional se inició gracias a la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS, por su acrónimo inglés) que junto al Centro Internacional de Ingeniería Genética y Biotecnología (ICGEB) llamaron a un concurso internacional de proyectos. La participación de países desarrollados debía poseer representación activa pero debía además incorporar la participación de un país del tercer mundo. Por ello nos presentamos al concurso instituciones de dos países desarrollados (Universidad de Boloña, Italia), más dos centros de investigación de países en vías de desarrollo (Centro de estudios Avanzados en Zonas Áridas, CEAZA, de Chile y la Universidad de Buenos Aires, Argentina). El país de tercer mundo invitado fue Mali, del África Oeste. En particular gracias a una colaboración previa entre la Universidad de Boloña y un profesor e investigador del Instituto Politécnico Rural y de Formación Agrícola, IPR/IFRA, de Katibougou.

Más tarde otro proyecto entre Francia (CIRAD, IRD, INRA), Mali (IER, ICRISAT) y Chile (CEAZA), financiado por la *Agence National de Recherche* (ANR, 2008-2012) de Francia, permitieron estudiar los sistemas semilleros de quinua en Chile y compararlos con los de Sorgo y Mijo en Mali (Bazile et al, 2011, 2012).

### Experimentos realizados y sus resultados.

Los experimentos realizados contemplaron cuatro áreas que comprendieron (1) evaluaciones agronómicas de siembras en estación seca (noviembre a marzo), (2) en estación húmeda (junio a agosto) que es el período preferido por los agricultores dado la mayor

abundancia de lluvias, (3) estudios de germinación y conservación de semillas y (4) de uso de diferentes tipos de compost para mejorar la calidad de los suelos. En todos los estudios hubo especial atención a realizar evaluaciones de la presencia de enfermedades y de insectos que podrían desarrollarse como plagas del cultivo y de otros que podrían ser depredadores de las mismas, como control biológico.

#### 1. Evaluaciones en estación seca.

Las siembras de las variedades chilenas y argentinas de quinua (Cuadro 1) correspondientes a la estación seca se realizaron el 15 de noviembre de 2007 en unidades experimentales de 18 m<sup>2</sup>. Se realizó las siembras de 5-6 semillas en pocillos espaciados a dos densidades (cada 10 y 20 cm) separados por 50 cm entra líneas, excepto las variedades de Argentina, de las cuales se disponía menos material, que se sembraron sólo a la mayor densidad (cada 10 cm). Los riegos se espaciaron cada 15 días (3/4 de capacidad de campo) y cada 10 días desde floración. Como abono se usó sólo compost de guano de ganado bovino (en proporción de 8 ton/ha). Para un segundo período de evaluación en estación seca (2008/09) se utilizó las semillas de plantas que produjeron panojas y granos en el año 2008 (Figura 2). Se sembró esta vez un poco más tardíamente (5 y 15 de diciembre de 2008), en las mismas condiciones del primer período, usando las semillas obtenidas en la cosecha de la primera evaluación. Las semillas de la primera cosecha fueron evaluadas en su capacidad germinativa. No todas resultaron viables (ver sección de resultados).



**Figura 2.** Plantas de quinua (variedad campesina Roja Tastina) cercanas al tiempo de cosecha en la estación experimental del IPR/IFRA de Katibougou, Mali, en febrero de 2008 (estación seca). Al fondo se observan estanques de agua para proveer de riego por gravedad.

## 2. Evaluaciones en estación húmeda.

En la estación húmeda (junio-agosto 2009) se hicieron pruebas para verificar resultados de ensayos preliminares realizados en la estación húmeda del período 2008/09 que habían mostrado aparición de hongos que decimaron las panojas (Figura 3). No se usaron los ecotipos altiplánicos

chilenos (A64, R49, MIX) por presentar semillas recalcitrantes (sin germinación) tras la cosecha en la estación seca de Mali. Además de las siembras en forma directa en terreno (en poco más de 0,3 ha) se probó la capacidad de germinación de las semillas en laboratorio (evaluadas a los 5 días,  $n=50$  semillas), usando algodón y suelo de las mismas parcelas experimentales.



**Figura 3.** Planta de la variedad BO78 cuya panoja atacada por un hongo (no identificado) durante la estación húmeda del año 2008 produce una aborto total de toda la panoja apical y un crecimiento arbustivo (muy ramificado) de la planta.

## 3. Estudios de germinación y conservación de semillas.

Las semillas de quinua que llegaron por primera vez a Mali fueron evaluadas en su capacidad de germinar en sucesivas etapas que implican evaluar su calidad bajo condiciones de conservación a temperatura ambiente. Las temperaturas fluctúan entre 21°C y 26°C con extremas en período seco de 45°C en ambientes externos; en ambientes internos las temperaturas máximas pueden ser 10°C menores. Sin embargo la humedad ambiental máxima puede ser muy alta en todos los períodos (>50%). Por ello se evaluaron los pesos de las semillas antes y después de tres meses de conservación. Desde las primeras producciones de semillas en Mali se evaluó la germinación a las 12 horas, en algodón

humedecido, en condiciones de laboratorio, luego de transcurridos 5, 11 y 12 meses desde la cosecha y también al cabo de tres años.

La protección contra insectos consistió en evaluar la entomofauna que se desarrolla en envases con 100g de semillas de quinua, comparando testigos (para cada variedad,  $n=8$ ) contra tratamientos que consistían en yuxtaponer semillas de cada variedad junto a bolsas de género que contenían 10g de restos secos (enteros) ó 6g de restos molidos (harina) de una especie vegetal con potencial repelente de insectos. Se probaron dos especies vegetales con este potencial de biopesticida: *Cassia nigricans* e *Hyptis spigicera*. Las semillas evaluadas (germinación y entomofauna asociada) al cabo de tres meses fueron 8 de las 12 variedades (Boliviana,



PRP, PRJ, VI-1, UDEC9, Regalona, BO25 y BO78.

#### 4. Estudio de respuestas al uso de compost.

Los rendimientos de las mismas 8 variedades de quinua probadas para su tolerancia al ataque de insectos en sus granos fueron probados en siembras en temporada seca (2 de diciembre de 2010 a marzo de 2011) bajo tres tratamientos de adición de enmiendas al suelo: Guano de ganado bovino/ovino (preparación en compost) en dosis de 8 ton/ha y de 4 ton/ha (testigo). Un tercer tratamiento fue compost del mismo guano pero modificado por lombrices, en dosis también de 8 ton/ha. La cosecha se realizó el 12 de marzo de 2011. Además de registrar los rendimientos se cuantificó la presencia de insectos en cada variedad campesina.

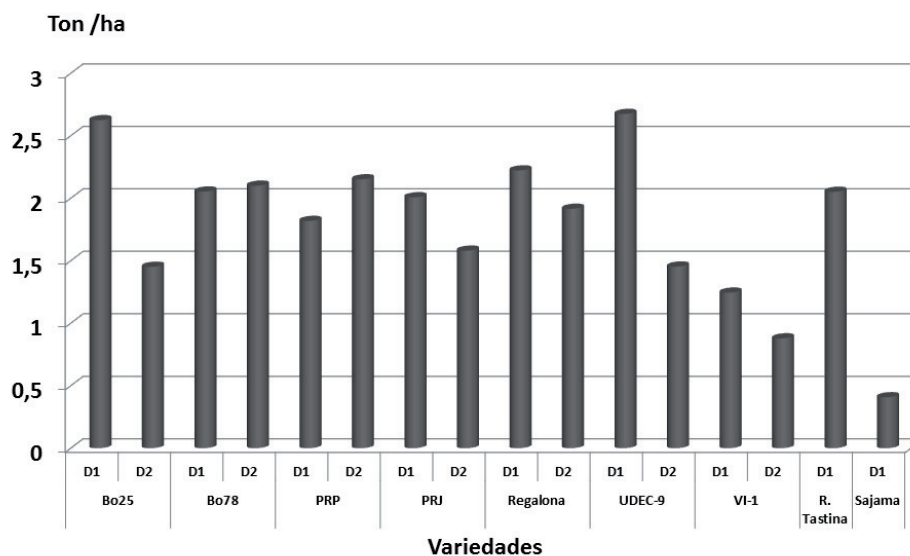
### Resultados

#### 1. Evaluaciones en estación seca.

Las 12 variedades campesinas del centro sur de Chile y las semillas de cosechas argentinas mostraron tasas de germinación entre 73% (PRP) y 97%

(Sajama). Las del norte altiplánico chileno (A64, R49, MIX) fueron recalcitrantes (sin germinación). Las temperaturas ambientales del primer período fluctuaron entre 8,7°C la mínima (enero 2008) a 36,6°C la máxima (febrero 2008), mientras que en el segundo período fueron de 14°C (mínima en diciembre 2008) y 39°C (máxima en marzo de 2009). Las humedades relativas fluctuaron entre 21% (mínima en febrero 2009) y 82% (noviembre de 2008).

Los rendimientos en grano para las siembras de 2007 fluctuaron entre menos de 0,5 Ton/ha (Sajama a la mayor densidad) hasta poco más de 2,5 ton/ha (BO25 y Udc9 a la menor densidad) (Figura 4). En general hubo mayores rendimientos a las más bajas densidades de siembra. Seis de las 10 variedades campesinas chilenas obtuvieron rendimientos cercanos o superiores a 2 Ton/ha. Los mayores rendimientos se observaron para UdeC9, BO78, BO25, PRJ y PRP, todos provenientes del centro y sur de Chile.



**Figura 4.** Rendimientos de quinua en grano (Ton/ha) para las siembras de 2007, en plantas a baja (D1) y alta (D2) densidad.



Para los rendimientos de la segunda campaña (siembras del 5 y 15 de diciembre de 2008) no hubo granos producidos en las variedades cuyas semillas provenían de cosechas argentinas (Sajama y Roja Tastina). En general se repitió mayores rendimientos a más bajas densidades de siembra. Los valores de rendimiento fluctuaron entre 0,5 y 1,5 Ton /ha; las del 15 de diciembre fueron nulos para las variedades argentinas, y los valores para las otras fluctuaron entre 0,5 y 1 ton/ha, no habiendo diferencias significativas entre ambas densidades. En las siembras del 5 de diciembre hubo menores temperaturas durante la floración que en las siembras del 15 de diciembre, con lo que hubo al menos 0,5 Ton/ha más de rendimiento en la siembra temprana.

## 2. Evaluaciones en estación húmeda.

Las tasas de germinación de las semillas de estos ensayos fueron levemente más altas para las variedades campesinas germinadas en algodón (rango 80%-97% ya a los dos días) que en suelo de las mismas parcelas (60%-80% a los dos días). Las variedades Sajama y Roja Tastina no germinaron y la Boliviana menos de 5%. La BO25 fue la más lenta en germinar, tanto en algodón (60% a los 5 días) como en suelo (poco más de 50% a los 5 días). La presencia de hongos en las semillas alcanzó a los cinco días mayor presencia en UdeC9, Roja Tastina y Sajama de Argentina (>70% de las semillas) y menor (<20%) en BO25 y BO78, del sur húmedo de Chile. Todas las otras variedades presentaron valores intermedios. Se desconoce el tipo de hongos y si estaban ya presentes en las semillas al momento de la cosecha. Los hongos se contabilizaron a los cinco días de incubación.

En terreno las emergencias variaron entre 23,7% para BO25 y 51,27% para VI-1. También hubo ataque de hongos a las panojas (como en la Figura 3). La variedad que mantuvo en pie más de 40 plantas al 25 de julio de 2009, y que fue menos afectada (16,7%) fue BO25 y la más afectada, con al menos 40 plantas en pie a la misma fecha fue PRP (54,5% de ataque). Las otras variedades (BO25, PRJ, UdeC9), todas con algún grado de ataque por hongos registraron menos de 15 plantas sobrevivientes a la estación húmeda. La variedad Boliviana tuvo sólo 2 plantas sobrevivientes, mientras que Roja Tastina y Sajama no presentaron plantas.

Los insectos fitófagos observados pertenecían a 30 especies (13 desconocidas), de 22 familias y 7 órdenes

diferentes (Orthoptera, Homoptera, Heteroptera, Dermaptera, Diptera, Coleóptera, Hymenoptera), mientras que los biocontroladores (entomófagos, depredadores) pertenecían a 10 familias de 5 órdenes (Orthoptera, Heteroptera, Diptera, Coleóptera, Hymenoptera).

No se cuenta con datos de rendimientos dado las altas infecciones fúngicas observadas en las dos estaciones húmedas.

## 3. Estudios de germinación y conservación de semillas.

Los valores de germinación de semillas obtenidas en Mali (evaluadas al quinto día) y observados a los cinco meses (6 agosto de 2008) mostraron tasas de entre 25% (Roja Tastina) y 98% (Sajama). La mayoría de ellos con valores de germinación sobre 65%. A los 11 meses (25 enero 2009) la germinación bajó de 70% para las variedades VI-1, Roja Tastina, Sajama, R49 (<5%) y Boliviana. Todas las otras con valores sobre 70%, hasta casi 100% (BO25, PRJ). A los 12 meses (4 febrero 2009) la germinación más baja fue de Roja Tastina (30%) y entre 80% (BO25) y 98% (Regalona) el resto de las variedades BO78, PRP, PRJ, VI-1, UdeC9. Las semillas almacenadas por tres años tuvieron tasas de germinación muy bajas, entre 2% (para R49) y 12% (para PRJ, UdeC9 y BO25).

Con respecto a la presencia de insectos y la conservación de granos se observó en la primera inspección de los granos de ocho variedades que sólo se detectó 2 coleópteros y sólo en semillas de la variedad La regalona, al usar 10g de materia seca de *Cassia nigricans*. Con 10 g de materia seca de *Hyptis spigicera* aparecieron además lepidópteros, pero sólo en semillas de la variedad Regalona. Con 6g de harina de *Cassia nigricans* de nuevo aparece 1 coleóptero en semillas de La Regalona pero 15 lepidópteros en semillas de la Boliviana. En cambio con 6g de harina de *Hyptis spigicera* sólo aparecen 3 coleópteros en La Regalona y un sólo lepidóptero. Algo similar ocurre con los restos secos con o sin moler, para ambas especies vegetales.

La germinación a las 120 horas es cercana al 90% en todas las variedades campesinas. Hongos aparecen en todas las variedades, con menor incidencia (20% de las semillas) en BO25 y mayor en VI-1 y UdeC9 (>50% de las semillas). Después de tres meses la aparición de radículas y cotiledones (indicadores de vigor de semillas en germinación) se ve disminuida al menos un 50% respecto del comienzo de las observaciones

(para los tratamientos con ambos vegetales secos). Esto se postula que debe relacionarse a las reacciones bioquímicas que se desatan con la imbibición de la humedad ambiental, pues el peso de las semillas subió incluso un 3% luego de los tres meses de mantenimiento de las semillas a temperatura ambiente, particularmente en las variedades altiplánicas.

#### 4. Estudio de respuestas al uso de compost.

Los rendimientos observados con uso de compost revelaron mejores respuestas con la mitad de la dosis de compost a base de restos de guano ovino/bovino. Las ocho variedades presentaron rendimientos entre 0,8 Ton/ha (UdeC9) y 4,5 Ton/ha (BO25) con compost de lombrices (promedio 2,6 Ton/ha). Para el compost en dosis de 8 Ton/ha los rendimientos fluctuaron entre 1,8 Ton/ha (Regalona) y 4,9 Ton/ha (PRJ), observándose un promedio cercano a las 3 Ton/ha. Para la mitad de esta dosis los rendimientos fueron aun mayores, fluctuando entre 2,2 Ton/ha (BO78) y 5,7 Ton/ha (BO25 y PRP), promedio ligeramente superior a 3 Ton/ha.

Por otra parte estas enmiendas también parecen afectar la carga de insectos en las plantas. Por ejemplo con compost de lombrices la carga de Thrips no superó los 150 insectos/planta, en cambio con la dosis de 8 Ton/ha de compost normal se registraron

más de 600 Thrips/planta, y con la mitad de esta dosis sólo se encontraron 25 Thrips/planta, en el mismo período. Similares tendencias se observaron para otros insectos. Algunas variedades cuadruplicaron las abundancias observadas en ciertas épocas (PRP al comienzo).

#### Estado actual y perspectivas de la diseminación del cultivo en el país a 5-10-20 años.

Ya al fin de la primera campaña (2007- 2008) 9 variedades se mostraban adaptables al período seco con una producción promedio de 1 à 5 Ton/ha, superior a los rendimientos campesinos para los cereales tradicionales (mijo y sorgo) más usados en África, aunque los ensayos son aun de pequeña escala y realizados en estación experimental con parámetros controlados. Actualmente, tras cuatro años de experimentos, hay semillas congeladas suficientes para sembrar más de 200 ha. Un objetivo posible es probar la quinua en los suelos salinizados donde el cultivo de arroz ya se hace difícil (Territorios arroceros del Niger, Sélingué, perímetro de Baguinéda, Dioro, Diré). Se espera para los próximos cinco años que el pueblo Maliano esté más informado de la quinua. En el año 2008 ya se hicieron pruebas de aceptación de la quinua como alimento preparado y hubo muy buena recepción para inventar nuevas recetas con granos lavados artesanalmente para sacar las saponinas (Figura 5). En los próximos 10-20 años se podría llegar a la región de Kidal.



**Figura 5.** La Sra. Salimata nos muestra un plato de quinua preparado con verduras y queso, todo cocido al vapor en una tela colgada de un árbol. Las semillas provenían de las primeras cosechas experimentales en Katibougou (Mali, febrero de 2008) y las saponinas fueron lavadas artesanalmente. Esto muestra la buena aceptación culinaria de la quinua en Mali.

Hay que tener presente que la fuerza de la organización de Mali se basa no sólo en las autoridades nacionales. Los jefes de aldea y consejos de ancianos pueden tomar decisiones que son seguidas en muy poco tiempo por los campesinos. También la Asociación Nacional de las Organizaciones Campesinas Profesionales de Mali (AOPP en francés) es una plataforma importante para la difusión de las innovaciones y como interfase entre investigación y agricultores. Como ejemplo, entre 2005 y 2008 la ONG Helvetas convenció a jefes de aldea que el futuro mercado del algodón orgánico era rentable en el mercado internacional. En esos tres años Mali pasó de tener poco más de 100 productores de algodón de pequeña escala (1 ha) a seis mil, con sólo una veintena de profesionales de vulgarización del cultivo. Desgraciadamente el mercado internacional de algodón orgánico bajó sus precios (por la entrada de Turquía al mercado) y la producción ya no fue tan rentable. Sin embargo la experiencia demostró la capacidad de cambio, en muy poco tiempo, de los versátiles productores de Mali y sirvió además para que ellos volvieran a confiar en sus prácticas agroecológicas tradicionales, un tanto olvidadas por la entrada de la revolución verde y sus agroquímicos. Por ello hay esperanzas de que la quinua pueda ser una solución a amentar las posibilidades de mantener una agricultura ecológica, de un producto altamente nutritivo y tolerante a diversos estrés abióticos, sin riesgo de que pierdan su diversidad de cultivos, como una alternativa más de rotación, si este concepto se integra en la conciencia colectiva desde el inicio en la política de difusión.

Cuando consideramos las áreas potenciales de quinua para Mali, no tenemos que olvidar las parcelas cerca del Níger donde la napa es superficial y permita alimentar a plantas con raíces en profundidad. Los malos resultados de la quinua en periodo de lluvias confirman la posibilidad de sembrar estos espacios en contra estación según la agricultura de la zona con cereales. La buena fertilidad de los suelos no son factores limitantes para considerar dos producciones anuales en las parcelas lo que generaría más alimentos sin superponerse con las variedades y especies locales. Por el momento todos los ensayos estuvieron restringidos a las parcelas experimentales del IPR/IFRA.

Sin embargo los ataques de hongos fitopatógenos y la conservación de semillas frente al ataque de insectos son temas que requieren investigación de punta para afinar la época de siembra en vista de estos factores.

Por otra parte es muy probable que sea más limitante para el desarrollo de la quinua en estación seca el tipo de acceso al agua. En ello habrá que considerar la energía necesaria para obtenerla: por ejemplo bombeo desde pozos o desde del río Níger. La energía permitiría además instalar máquinas peladoras del grano en seco y así la utilización subsecuente de las saponinas para combatir plagas y enfermedades del mismo cultivo y de otros. Una vez que haya acceso al agua se necesitará cuidar de un buen manejo de los suelos para evitar la erosión, por ejemplo con el uso de compost y menor laboreo. Este estudio muestra muy bien que los rendimientos mejoran considerablemente con el uso de compost. Todos estos elementos serán más urgentes y eficaces que, por ejemplo, los procesos de mejoramiento a través de la ingeniería genética, aún muy costosos. Finalmente será muy importante seguir de cerca la información de lo que ocurre en India pues en ese país hay 700 millones de pequeños productores agrícolas de subsistencia, la mayoría vegetarianos, que tienen gran necesidad de aumentar las fuentes de proteínas de alta calidad y que ya comenzaron a adaptar variedades de quinua (Bhargava 2006).

### **Usos y Mercados.**

Las pocas cosechas de quinua ya han sido bien utilizadas como alimento innovador en Mali (Fig. 5). La experiencia con el algodón orgánico muestra que no es bueno comenzar por los productos agrícolas de exportación, solo con un objetivo de obtener dinero. Esto porque a menudo los precios son volátiles y pueden causar tragedias locales. La producción de sorgo y mijo en Mali es para su alimentación de base; y la quinua, mucho antes que ser un elemento de mercado debería ser un complemento alimentario de alta calidad, a la mayor disposición posible de niños o personas en desnutrición que no tienen acceso regular a fuentes de proteínas animales.

### **Conclusión.**

Se concluye que la quinua puede ser un cultivo adaptable a países subsahelianos como Mali, u

otros de ambos hemisferios, ubicados entre los 15°N y 15°S, con un clima marcado por estaciones secas y húmedas muy contrastantes. Sin embargo, en la estación de lluvias torrenciales hay un gran riesgo de pérdidas de semillas en germinación si las lluvias caen durante etapas tempranas donde la erosión de suelos es importante. Otras pérdidas pueden deberse al ataque por hongos y por insectos (tanto en estados de semilla como de plantas). La selección de variedades campesinas debería buscar subsanar estos riesgos, además de la adaptación al fotoperíodo y a las altas temperaturas en floración. Fue interesante notar que variedades del sur de Chile resultaron de buenos rendimientos en la estación seca, particularmente cuando se usó enmiendas orgánicas en los suelos y éstos mostraron semillas de mayor tolerancia a la humedad ambiental para su conservación entre siembras.

### Referencias.

- Altieri MA (1995) Agroecology. The Science of Sustainable Agriculture, Colorado, Westview Press.
- Anon (2010) How to feed a hungry world. *Nature*, 466:531–532.
- Bhargava A, Shukla S & D Ohri (2006) *Chenopodium quinoa*-an Indian perspective. *Industrial Crops and Products* 23:73–87.
- Bazile D (2006) State-farmer partnerships for seed diversity in Mali. Londres : IIED, 22 p. (Gatekeeper Series : IIED, 127). <http://www.iied.org/pubs/pdf/full/14519IIED.pdf>
- Bazile D, Abrami G, Dembélé S, Coulibaly H, Le Page C, Dionnet M, Chantreau J, Orsini M, Bousquet F, Pham J.L, Sangare K & G. Bezançon (2008) Modélisation multi-agents des réseaux d'échanges de semences pour la conservation de la biodiversité agricole. In : BRG. Les ressources génétiques à l'heure des génomes: 7ème Colloque national BRG, Strasbourg, France, 13-15 octobre 2008 . Paris : BRG, p. 29-50.
- Bazile D., Sidibé Amadou, Coulibaly H. (2011). Une expérience participative d'usage de la modélisation avec les paysans pour analyser la dynamique de la biodiversité des mils et sorghos dans les systèmes semenciers au Mali. Le cas de l'atelier final du projet IMAS (ANR 2008-2012) : 16-19/01/2012. *Les cahiers de l'économie rurale* (13) : 47-57.
- Bazile D., Martinez E.A., Hocdé H. & Chia E. (2012). Primer encuentro nacional de productores de quinua de Chile: una experiencia participativa del proyecto internacional IMAS a través de una prospectiva por escenarios usando una metodología de «juego de roles». *Tierra Adentro* (Chile) (97): 48-54.
- Chevassus-au-Louis B & D Bazile (2008). Cultiver la diversité. *Cahiers Agricultures*, 17 (2) : 77-78.
- Coulibaly H, Bazile D, Amadou S, & G Abrami (2008). Les systèmes d'approvisionnement en semences de mils et sorghos au Mali : production, diffusion et conservation des variétés en milieu paysan. *Cahiers Agricultures*, 17 (2) : 199-202.
- Fuentes FF, Bazile D, Bhargava A, & EA Martínez (2012). Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinua, as revealed by its genetic diversity in Chile. *The Journal of Agricultural Science* 150: 702-716.
- Gigou J (1987) L'importance de la carence en phosphore pour les cultures annuelles en Côte d'Ivoire. *Agronomie Tropicale*, 42 (1) : 20-28.
- Gigou J, Giraudy F, Koné M & M Niang (1998) Maintenir la fertilité sous coton et céréales. *Afrique agriculture* (263) : 28-45.
- Glass, RW & LA Johnson LA (1979) Revival of quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a food crop. *Cereal Foods World*, 24, 458-458.
- Jacobsen Sven-Erik (2003): The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), *Food Reviews International*, 19:1-2, 167-177.
- Jacobsen, S E, Mujica, A & R Ortiz (2003) The global potential for quinua and other Andean crops. *Food Reviews International*, 19, 139-148.
- Louafi S, Bazile D & JL Noyer (2013) Conserver et cultiver la diversité génétique agricole : aller au-delà des clivages établis. In : Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture. Versailles : Ed. Quae, p. 185-222.
- Orsini F, Accorsi M, Gianquinto G, Dinelli G, Antognoni F, Ruiz-Carrasco KB, Martínez EA, Alnayef M, Marotti I, Bosi S & S. Biondi (2011) Beyond the ionic and osmotic response to salinity in *Chenopodium quinoa*: functional elements of successful halophytism. *Functional Plant Biology* 38:818-831.



Ruiz-Carrasco KB, Antognoni F, Coulibaly AK, Lizardi S, Covarrubias A, Martínez EA, Molina-Montenegro MA, Biondi S & A Zurita-Silva (2011) Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry* 49, 1333–1341.

Soumaré M, Bazile D, Vaksman M, Kouressy M, Diallo K & CH Diakité (2008) Diversité agroécosystémique et devenir des céréales traditionnelles au sud du Mali. *Cahiers Agricultures*, 17 (2) : 79-85.

Traoré KB, Ganry F, Oliver R & J Gigou (2004) Litter production and soil fertility in a *Vitellaria paradoxa* parkland in a catena in southern Mali. *Arid land research and management*, 18 (4): 359-368.

UNICEF (2013) Informe Anual de UNICEF (2012). New York, 54 pp. (disponible en: [www.unicef.org/publication](http://www.unicef.org/publication))

## CAPÍTULO 6.32.

# TÍTULO: PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE LA QUINUA (*CHENOPODIUM QUINUA* WILLD) MÁS ALLÁ DE SUS TRADICIONALES ZONAS DE CULTIVO: UN CASO DE KENIA

\*Autor para correspondencia: Julius KHAEMBA < [khaemba03@yahoo.com](mailto:khaemba03@yahoo.com) >

**Autores:** MAURICE E OYOO<sup>a</sup>, JULIUS KHAEMBA<sup>a</sup>, STEPHEN M. GITHIRI<sup>b</sup>, PATRICK O. AYIECHO<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Egerton University, Department of Crops, Horticulture and Soil Sciences. P.O. Box 536-20115 Egerton, Kenya.

<sup>b</sup> Jomo Kenya University of Agriculture and Technology (JKUAT), Horticulture department. P.O. Box 62000-00200 Nairobi, Kenya

<sup>c</sup> University of Nairobi, Department of Plant Science and Crop Protection, P.O. Box 30197-00100, Nairobi, Kenya.

## Resumen

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ha sido cultivada durante miles de años en la región andina. Ha sido llamada un “súper alimento” por su alto contenido de minerales, proteína (16%), y vitaminas. Es capaz de crecer en diversas condiciones ambientales tales como zonas con alta salinidad, propensas a heladas, de baja altitud y también en zonas áridas. Estos atributos han llevado a una alta demanda para este cultivo en la medida que más gente la conoce. Hay necesidad de diversificar las áreas de producción de la quinua especialmente en África donde puede actuar como un cultivo para la seguridad alimentaria, aumentar la diversidad de los cultivos en agro-ecosistemas, actuar como un plan de contingencia para la adaptación a cambios climáticos y donde pueden satisfacerse demandas laborales para su producción. Registros de la fecha en que la quinua fue introducida en Kenia y otras partes de África no son claros. Hay mención de su cultivo ya en 1942 por Elmer, cuando se encontró que el cultivo fue capaz de crecer en altitudes de 7000 a 8000 pies, pero la fuente no puede ser verificada. La Organización

de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) menciona su introducción en 1985, mientras Jacobsen en su trabajo de 2003 menciona 2001. La introducción del cultivo en Kenia no se ha hecho de manera sistemática donde podría hacerse un seguimiento detallada de los ensayos. Algunos intentos de investigación sobre la quinua en Kenia se llevaron a cabo en 1999 y 2000 por Oyoo, en ese entonces de la Universidad de Nairobi. Su estudio evaluaba unos 24 genotipos de quinua provenientes de Perú, Bolivia, Holanda, Dinamarca, Ecuador, Chile, Colombia, Argentina y Brasil a través del International Potato Centre (CIP), Nairobi. Hay otra mención de ensayos por Bojanic quien cita a Jacobsen. El trabajo de Oyoo parece ser una de las más completas en ensayos de rendimiento y rasgos relacionados con rendimiento de la quinua en Kenia. Durante un período de dos temporadas de cosecha se pudo identificar cinco genotipos superiores que podrían ser lanzados directamente a los agricultores o ser utilizados en futuro trabajo de fitomejoramiento. El trabajo más reciente sobre la quinua fue realizado por un científico de la Universidad de Nairobi en

2006 evaluando la incorporación de la quinua como abono verde en los sistemas de cultivo de frijol para controlar el nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.). Los resultados mostraron que la quinua tuvo un efecto intermedio en la supresión del nematodo agallador cuando era utilizado con frijoles en un sistema de plantación intercalado. Estos resultados eran de hecho prometedores, pero poco se sabe sobre la quinua fuera del entorno de investigación. Esto requiere una promoción concertada sobre los beneficios de la quinua y su potencial fuera de sus áreas de producción, así como una investigación bien coordinada en diversos campos de la fisiología, fitomejoramiento y agronomía de la quinua para estimular su adopción de manera más generalizada.

**Palabras clave:** Quinua (*Chenopodium quinua* Willd.), introducida en Kenia, investigación, genotipos superiores, control del nematodo agallador

### Introducción.

El 2 de julio de 2011, en la trigésimo séptima Conferencia de la FAO bajo resolución 15/2011 se declaró el año 2013 como el “Año Internacional de la Quinua”, una decisión adoptada en apoyo al Gobierno de Bolivia. La base de esta decisión eran las excepcionales cualidades nutritivas de este cultivo, su adaptabilidad a diferentes condiciones de crecimiento y su significativo potencial para contribuir a la lucha contra el hambre y la desnutrición. Esta resolución fue luego enviada al Secretario General de las Naciones Unidas para su aprobación (Bojanic, 2011).

Los registros más tempranos del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se remontan a 5000 A.C. en Ayacucho en Perú y 3000 A.C. en Chinchorro en Chile, donde fue cultivada por los Incas y los Mapuches en Argentina y Chile, y los Chibcha de Colombia, pero se cree que el cultivo fue domesticado en los alrededores del Lago Titicaca (Fleming y Galwey, 1995; Jacobsen y Mujica, 2002). Es por lo tanto, de origen andino. La distribución temprana de cultivos fue realizado por la expansión del Imperio Inca hasta Bolivia, Ecuador, Perú, Argentina, Chile y Colombia en América del sur (Jacobsen y Mujica, 2002). Entre los Incas, fue referido como el “Grano madre” y fue segundo en importancia a la papa en cuanto a cultivos, pero con la conquista española, el cultivo disminuyó en importancia y fue sustituido por otros cereales (Fleming y Galwey, 1995). Hoy en día, se cultiva ampliamente en muchos países del mundo

como el Reino Unido, Canadá, Dinamarca y Holanda entre otros (Bertero et al., 2004).

El interés en la quinua ha sido acelerado por sus muchas ventajas sobre otros cultivos. Entre ellos se encuentran los siguientes: su adaptabilidad para producir en condiciones climáticas y de suelo desfavorables, su alto valor nutricional incluyendo un alto contenido de proteína, así como un bajo contenido de gluten, y sus ricas vitaminas y minerales por los que se ha dicho que es el grano más nutritivo del mundo (Fleming y Galwey, 1995; Jacobsen y Mujica, 2002; Jacobsen, 2003; Bertero et al., 2004; El Hafid et al., 2005). Su buen desempeño desde el nivel del mar a más de 4000 m sobre el nivel del mar y en regiones propensas a la sequía, no significa que su tolerancia a la sequía es absoluta. El cultivo necesita algunas aplicaciones de agua durante las etapas de crecimiento sensibles al agua, donde puede aumentar significativamente sus rendimientos (Bosque Sanchez et al., 2003; García, 2003) y también es conocido que tiene un buen desempeño bajo condiciones salinas (Eisa et al., 2012).

Muchas personas y organizaciones sienten que con el aumento de la población mundial, se debería prestarse más atención a los cereales principales del mundo para alimentar a la gente. Esta declaración puede ser cierta para áreas productivas, pero no para áreas marginales y degradadas que requieren de cereales menores y pseudocereales que son más adaptables y tienen un mayor rendimiento (Williams, 1995). Aquí es donde encaja la quinua, especialmente en la situación de cambio climático en el cual el mundo se encuentra hoy. Los efectos del cambio climático son bien conocidos: aumento de las temperaturas, con la temperatura en lugares de altitud y latitud alto aumentando más que otros, sequía prolongada en regiones áridas y semiáridas, un aumento de inundaciones, fenómenos meteorológicos extremos y un aumento en el nivel del mar, entre otros. En general, el clima está cambiando más rápido de lo que las especies tardan en adaptarse y por lo tanto, hay necesidad de esfuerzos conscientes, de lo contrario la vida en la tierra no será soportable.

### Expansión del cultivo de la quinua más allá de América del sur.

Mientras que el maíz y las papas alcanzaron una distribución cosmopolita, la quinua no se extendió más allá de su centro de diversidad. Después de la

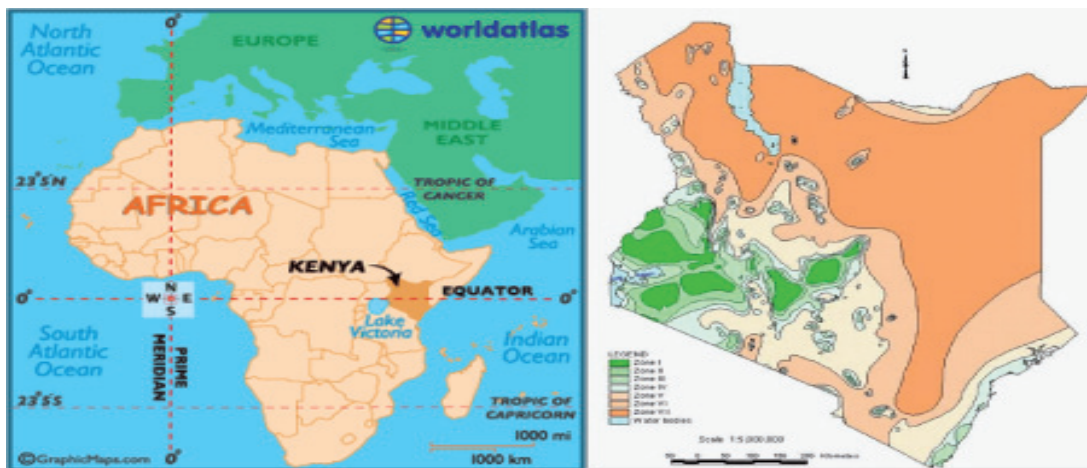
conquista española, hubo una marcada disminución en su cultivo y uso en América Latina debido a la introducción de la cebada y trigo a tal grado que el cultivo es poco conocido en las grandes ciudades y es considerado como un cultivo nativo de estatus bajo y de poco interés. Los conquistadores españoles también desalentaron su cultivo debido a su estatus religioso en la sociedad Inca (Cusack, 1984). Sin embargo, las poblaciones indígenas en las regiones montañosas mantuvieron su cultivo, y en estas comunidades la quinua ha permanecido como el cultivo de grano más importante debido a su tolerancia a la sequía y a los suelos pobres y fríos (Rae et al., 1979 citado por Jacobsen y Stølen, 1993).

La entrada del cultivo en la Unión Europea fue en los años 70 cuando fue introducido en Inglaterra. Desde entonces, su cultivo se ha extendido a otros países de la región, aunque hay algunos registros de que ha sido cultivado anteriormente. Su popularidad es en la forma de alimentos saludables y como cultivo de cobertura para la caza, solo o mezclado con coles (Jacobsen, 2003). El cultivo se ha extendido a otros continentes como Asia, América del norte y África donde se ha demostrado tener un buen desempeño (Williams, 1995; Bojanic, 2011 y Jacobsen, 2003).

#### **Quinua en el Contexto de la Seguridad Alimentaria y Cambio Climático en Kenia.**

Mapas 1, 2 y 3 a continuación muestran la posición de Kenia en África, las zonas agroecológicas en que se divide el país y las principales ciudades del país respectivamente. Características taxonómicas de la

cubierta vegetal han sido utilizadas para clasificar el país en unidades de tierra ecológica y entonces en zonas eco-climáticas vegeto-ecológicas o agroecológicas donde clima, suelo y topografía han sido aislados, combinados y equiparados con sus tipos de vegetación para llegar a seis zonas eco-climáticas (Mapa 2). Estos son: Zona I. Páramo y Pastizales Afro-Alpinos -que se encuentran a gran altura sobre la línea del bosque, Zona II que tiene un clima húmedo a sub-húmedo seco, Zona III, que tiene un clima sub-húmedo seco a semiárido, Zona IV, que tiene un clima semiárido, Zona V, donde el clima es árido y Zona VI que tiene un clima muy árido. Zonas IV a VI suman el 72% de la superficie total de Kenia y generalmente son denominadas tierras áridas y semi áridas de Kenia (ASAL) (Ojany y Ogendo, 1988). Las precipitaciones en estas ASALs son escasas y altamente variable y por lo tanto no se puede asegurar la producción de cultivos. Las principales actividades económicas en estas áreas es la producción ganadera, pero debido a los cambiantes estilos de vida ocasionados por la variabilidad climática, la producción ganadera no es segura y últimamente las comunidades locales han iniciado actividades de cultivo donde en algunos casos están supliendo las precipitaciones con riego. Esto ocurrió como resultado de su incapacidad para reaprovisionarse de animales después de prolongadas sequías que han estado eliminando sus rebaños enteros. Para garantizar la seguridad alimentaria, la producción de cereales por las comunidades anteriormente pastoriles está siendo lentamente adoptada en su forma de vida.



**Mapa 1:** Los países de África

**Mapa 2:** Zonas agroecológicas de Kenia





**Mapa 3:** Principales ciudades de Kenia

La agricultura a pequeña escala es predominante en el país, practicada principalmente en las áreas de alto potencial, donde la producción es en granjas con un promedio de 0,2 – 3 hectáreas, en su mayoría sobre una base comercial. Esta producción representa el 75 por ciento de la producción agrícola total y 70 por ciento de los productos agrícolas comercializados. Más de 70 por ciento de maíz, un 65 por ciento de café, 50 por ciento de té, 80 por ciento de la leche, 85 por ciento de los peces y 70 por ciento de la carne y productos relacionados son producidos por pequeños agricultores. En las tierras de pastoreo, el sistema de producción de ganado en pequeña escala es practicado principalmente por pastores (GoK, 2010). Estos pequeños agricultores enfrentan grandes desafíos en su producción ya que la mayoría de ellos son de escasos recursos.

La estimación es que la mitad de la población de Kenia de 38,5 millones personas son pobres, con 7,5 millones de personas que viven en extrema pobreza y más que 10 millones que sufren de inseguridad alimentaria crónica y una nutrición deficiente (GoK, 2011). Las causas de la pobreza son más allá del alcance de este documento. Por otro lado, la seguridad alimentaria sigue siendo uno de los mayores problemas en el país. Sus causas son numerosas: Falta de una política o

estrategia alimentaria coherente, baja productividad en los cultivos, cambio climático y dependencia de la agricultura de secano, comercialización descoordinada, baja calidad de insumos para mejorar rendimientos (fertilizantes y semillas), degradación de la tierra y limitadas oportunidades para agregar valor (Nyoro, 2011). En los últimos años las estadísticas demuestran que la asistencia alimentaria es requerida por unos 2 millones de personas en cada momento y la cantidad puede incluso duplicarse durante las sequías, lluvias severas y/o inundaciones (GoK, 2011).

El efecto del cambio climático sobre los agricultores de bajos recursos es inmenso. Para los agricultores, la adaptación es la única salida. Esto es a través del desarrollo de mecanismos que les permitan enfrentar los cambios ya que no se encuentran en una posición capaz de detener las causas del cambio climático (Khanal, 2009). Para un país como Kenia, con una alta población con estrategias de afrontamiento limitadas, opciones de cultivos que permitan sobrevivir a las duras condiciones son deseables. La diversidad genética de las plantas puede ser crucial para el fitomejoramiento de cultivos alimentarios y es así una de las precondiciones centrales para la seguridad alimentaria en los sistemas de pequeñas explotaciones de recursos limitados, donde los suelos son pobres.

A efecto de garantizar la calidad de los alimentos, es necesario tener una variedad de cultivos para atender la provisión de todos los nutrientes. Sin embargo, como se busca la diversidad de cultivos, un cultivo como la quinua tiene un buen desempeño en áreas secas, pero también proporciona nutrientes de calidad. Tiene la capacidad de proteger gente de las consecuencias del cambio climático.

#### **Historia de la Investigación de la Quinua en Kenia.**

El Banco de Germoplasma Nacional de Kenia (NGBK) conserva accesiones de 49000 plantas con sólo 4000 muestras siendo distribuidas en un período de 15 años. Los materiales distribuidos comprenden al menos 290 especies de plantas distribuidas a por lo menos 150 usuarios dentro y fuera del país (Mutegi et al., 2005). Sin embargo, no hay ninguna mención de la quinua, aunque se realizaron algunas investigaciones sobre él, entre el 1935 y 1939, y del 1999 al 2000. Semillas de quinua no fueron enviadas para su conservación en la NGBK por las instituciones participantes: el instituto de investigación colonial y la Universidad de Nairobi.

La historia temprana de investigación de la quinua en

Kenia está dada por Elmer (1942) y se resume como sigue: en 1935 semillas colores crema se obtuvieron de los Jardines Botánicos Reales y se plantaron en Kitale (zona agroecológica II) y Kapenguria (zona agroecológica IV) (unos 40 km al norte de Kitale, (Ver Mapa 3 arriba)) en el noroeste de Kenia a una altitud de 1.828 m y 2.134 metros sobre el nivel del mar respectivamente. Los de Kitale fallaron, pero los de Kapenguria tuvieron algún rendimiento, obteniendo 2,3 kg desde 100 semillas. La recomendación en aquel momento era que la siembra debe hacerse al final de la temporada de lluvias (de julio a agosto) para ser cosechados durante la temporada seca en noviembre y diciembre. En 1939, se plantó semillas de Kapenguria en Scott Agricultural Laboratories (actualmente National Agricultural Research Laboratories en las afueras de Nairobi (zona agroecológica II), ver Mapa 3) a una altura de 1.737 metros sobre el nivel del mar (ver Mapa 3). Aunque pocas precipitaciones fueron recibidas en aquel momento (279 mm), la quinua fue el único cultivo en la zona que tuvo algún rendimiento. En el sitio de Kiambu (zona agroecológica II) en las Tierras altas en Kenia central, cerca de Nairobi a 2.438 metros sobre el nivel del mar, se tuvo un rendimiento de 850 kg por hectárea en suelos “pobres”. La conclusión de estos tres experimentos fue que la quinua no necesita suelos fértiles ya que esto le hace crecer alto e improductivo, crece en zonas a 1.829

metros sobre el nivel del mar, requiere 381-635mm de lluvia durante la temporada de cultivo y una estación de cosecha seca que debería venir entre cuatro meses y medio a seis meses después de la siembra. Las prácticas agronómicas aplicadas al cultivo fueron desarrolladas de acuerdo al contexto keniano de aquel momento. En aquel momento, se formularon recomendaciones sobre el uso del cultivo como una planta de abono verde, una práctica de la cual se hizo uso Kimenju et al., (2008). Todos estos ensayos se realizaron principalmente para poner a prueba la capacidad de adaptación del cultivo al medio local utilizando diferentes sitios ie Kitale (0°6 S 34°45 E), Kapenguria (1°14 S 35°E 07), Kiambu (1°10 S 36°49 E) y laboratorios agrícolas Scott (1°14 S 36°43 E)).

Después del informe de Elmer, no hay ningún rastro de trabajos sobre la quinua en el país hasta el año 1999 cuando el cultivo se reintroduce bajo un ensayo mundial de múltiples ubicaciones. El objetivo de la investigación fue determinar la adaptabilidad y rendimiento de cultivares de quinua bajo condiciones kenianas. Esto fue parte de una investigación de tesis de magister por Maurice Oyoo quien hizo varias publicaciones de la investigación. Veinticuatro accesiones fueron utilizadas todos procedentes de la oficina del International Potato Centre (CIP) en Nairobi (Cuadro 1).

**Cuadro 1:** Genotipos usados en la prueba de 1999-2000 por Oyoo et al. (2010)

<b>GENOTIPO</b>	<b>PAÍS DE ORIGEN</b>	<b>GENOTIPO</b>	<b>PAÍS DE ORIGEN</b>
1. CICA-127	PERÚ	15. NL-6	HOLANDA
2. CICA-17	PERÚ	16. E-DK-4	DINAMARCA
3. Huariponcho	PERÚ	17. G-205-95	DINAMARCA
4. Kancolla	PERÚ	18. Ingapirca	ECUADOR
5. 03-21-079BB	PERÚ	19. ECU-420	ECUADOR
6. 03-21-072RM	PERÚ	20. Canchones	CHILE
7. Illpa	PERÚ	21. Baer	CHILE
8. Salcedo	PERÚ	22. Narino	COLOMBIA
9. Ratuqui	BOLIVIA	23. Jujuy	ARGENTINA
10. Kamiri	BOLIVIA	24. Embrapa	BRAZIL
11. Real	BOLIVIA		
12. Sayana	BOLIVIA		
13. RU-2	INGLATERRA		
14. RU-5	INGLATERRA		

A continuación se presentan los aspectos más destacados de esta investigación:

### **Análisis de Varianza y Rendimiento Promedio de la Quinua en Kenia.**

El análisis de varianza mostró que los cultivares de quinua evaluados eran variables entre ellos,

para todas las características morfológicas, agronómicas y fenológicas estudiadas (Cuadro 2 y 3) excepto por el número de días a ramificación durante las lluvias cortas (Cuadro 3). Esta variación entre los cultivares sugiere diversidad genética entre los cultivares de quinua evaluados.

**Cuadro 2.** Cuadrados medios de análisis de varianza para veinte cuatro cultivares de quinua cultivados en Kabete durante la temporada de lluvias largas (1999).

<u>Fuente de variación</u>	<u>g.l.</u>	<u>Días a emergencia</u>	<u>Días a 6 hojas verdaderas</u>	<u>Días a ramificación</u>	<u>Días para formación de yemas</u>	<u>Días a antesis</u>	<u>Días a grano lechoso</u>	<u>Días a grano pastoso</u>	<u>Días a madurez fisiológica</u>	<u>Longitud de panoja (cm)</u>	<u>Biomasa (g)</u>
<u>Bloques</u>	2	0.79 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	3.50 <sup>ns</sup>	1.54 <sup>ns</sup>	14.43 <sup>ns</sup>	8.79 <sup>ns</sup>	7.63*	5.46 <sup>ns</sup>	47.80 <sup>ns</sup>
<u>Cultivar</u>	23	4.69***	2.05***	1.94***	6.68***	12.33***	294.14***	236.10***	302.55***	17.02***	795.04***
<u>Error</u>	46	0.40	0.38	0.66	1.49	2.11	8.69	6.79	1.56	2.48	37.79

<u>Fuente de variación</u>	<u>g.l.</u>	<u>Altura de planta (cm)</u>	<u>No de ramas/planta</u>	<u>Anchura de la lámina foliar (mm)</u>	<u>Longitud de la lámina foliar (mm)</u>	<u>Longitud del pecíolo (mm)</u>	<u>Tamaño de la semilla (µm)</u>	<u>Índice de cosecha</u>	<u>Rendimiento de semilla por planta</u>
<u>Bloques</u>	2	35.91 <sup>ns</sup>	9.72 <sup>ns</sup>	694.59***	178.01 <sup>ns</sup>	66.84 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	1.31 <sup>ns</sup>
<u>Cultivar</u>	23	1810.68***	22.81***	98.98**	104.19 <sup>ns</sup>	109.01***	0.07***	0.001*	46.71***
<u>Error</u>	46	62.43	1.34	34.60	60.63	43.41	0.01	0.01	2.77

P=0.05 gl. Grados de libertad

NS: no significativo \*:-significativo \*\*:-muy significativo \*\*\*:-altamente significativo

**Cuadro 3.** Cuadrados medios de análisis de varianza para veinte cuatro cultivares de quinua cultivados en Kabete durante la temporada de lluvias cortas (1999/2000).

Fuente de variación	gl	Días a emergencia	Días a 6 hojas verdaderas	Días a ramificación	Días para formación de yemas	Días a antesis	Días a grano lechoso	Días a grano pastoso	Días a madurez fisiológica	Longitud de panoja (cm)	Biomasa (g)
Bloques	2	0,04 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	2,06 <sup>ns</sup>	2,56 <sup>ns</sup>	4,62 <sup>ns</sup>
Cultivar	23	1,34**	1,56*	0,74 <sup>ns</sup>	2,89***	7,39***	290,38***	446,29***	507,74***	26,72***	521,8***
Error	46	0.35	0.72	0.60	0.31	0.43	1.13	1.52	1.82	1.60	12.62

Fuente de variación	gl	Altura de planta (cm)	No de ramas/planta	Anchura de la lámina foliar (mm)	Longitud de la lámina foliar (mm)	Longitud del pecíolo (mm)	Tamaño de la semilla (µm)	Índice de cosecha	Rendimiento de semilla por planta
Bloques	2	816,78***	1,98 <sup>ns</sup>	38,78 <sup>ns</sup>	37,79 <sup>ns</sup>	25,17 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
Cultivar	23	1479,03***	16,77***	164,8***	161,57***	199,42***	0,071***	.0029	8,20**
Error	46	62.32	1.34	22.11	19.52	29.37	0.004	0.002	0.58

P = 0,05 gl. grados de libertad

NS: no significativo \*:significativo \*\*:muy significativo \*\*\*:-altamente significativo

#### Desempeño agronómico, fenológico y morfológico de la quinua en Kenia.

Los resultados del desempeño de la cosecha para el año 1999 se presentan en el Cuadro 4 a continuación.



**Cuadro 4.** El desempeño medio de 24 variedades de quinua durante la temporada de lluvias largas de 1999 en Kabete.

<u>Cultivar</u>	<u>Días a emer- gencia</u>	<u>Días a 6 hojas ver- daderas</u>	<u>Días a ramifi- cación</u>	<u>Días a formación de vemas</u>	<u>Días a antesis</u>	<u>Días a grano lechoso</u>	<u>Días a grano pastoso</u>	<u>Días a madurez</u>	<u>Longitud de panoja (cm)</u>	<u>Biomasa (g/planta)</u>
1	10,3ab	21,7abc	27,7ab	33,7b-f	41,3a-c	56,7f-h	64,7e-g	70,7 g	13,8bc	48,3c-g
2	7,3gh	21,0b-d	28,0a	34,7a-e	39,3c-f	69,7bc	74,7cd	84,3e	12,6b-d	45,1c-i
3	8,0e-h	20,0d	28,0a	35,7a-c	40c-e	58ef	75cd	84,3e	10,6de	52,6c-e
4	11,0a	22,7 <sup>a</sup>	27,0a-c	32,7ef	38,3d-g	53,7f-h	65,7ef	72g	9,7e	45,9c-i
5	10,3ab	20,0d	26,3b-d	36,7a	43ab	72,7b	79,7b	90,3b	15,2b	55,1c
6	9,3b-d	20,7cd	27,0a-c	36,7a	43,7a	62,3de	71,0d	79F	21,8a	87,1b
7	7,3gh	20,0d	27,7ab	36,7a	43ab	84,3a	90,7a	97,7a	13,9bc	54,7cd
8	7,7f-h	20,0d	25,3d	32,7ef	39,7c-f	52,0gh	61,0fg	65,0 h	13,4b-d	42,6d-i
9	10,3ab	22,0ab	28,0a	35a-e	40,3b-e	55,7f-h	61,0fg	65,0 h	12,9b-d	45,5c-i
10	7,7f-h	20,0d	26,7a-d	31,7f	36,3g	52gh	60,3g	65,7h	11,6c-e	37,8f-i
11	8,0e-h	21,0b-d	28,0a	33,3c-f	38,7c-g	67cd	77,7bc	84,7de	13,2b-d	37,4g-i
12	8,7def	20,3d	27,0a-c	33,7b-f	39c-g	56,7f-h	65,7ef	73,0g	12,1c-e	35,5hi
13	8,0e-h	20,7cd	27,0a-c	35,3a-d	39,0c-g	71bc	80,3b	87,7c	13,2b-d	47,2c-h
14	8,3d-fg	20,7cd	28,0a	33,3c-f	38,0e-g	54,7f-h	64,7e-g	73,0g	12,9b-d	34,0i
15	10,7a	22,7 <sup>a</sup>	27,7ab	35,3a-d	41a-d	57,7e-g	73,0cd	81,0f	11,1cde	49,9c-f
16	9,0 c-e	20,0d	26,7a-d	36,3a	43,7a	84,3a	91,0a	97,0a	15,4b	107,3a
17	7,3gh	20,7cd	25,7cd	32,7ef	37fg	52gh	61,0fg	65,0 h	11,1c-e	36,8g-i
18	10,3ab	22,0ab	27,7ab	33,7b-f	37,7e-g	51,7h	66,3e	73,0g	10,6de	45,1c-i
19	7,7f-h	20,0d	26,3b-d	33,0d-f	39,3c-f	52,7f-h	65,0e-g	71,7g	13,2b-d	40,7e-i
20	8,0e-h	20,7cd	27,7ab	36ab	39,3c-f	71bc	77,3bc	86,7cd	11,7cde	40,8e-i
21	7,0h	20,3d	26,0cd	33,0d-f	38,3d-g	52,0gh	61,0fg	65,0 h	12,5b-e	40,8e-i
22	8,0e-h	20,7cd	27,7ab	34,7a-e	40,3b-e	56,7f-g	66,3e	73g	12,8b-d	44,8c-i
23	7,3gh	21,0b-d	28,0a	35,7a-c	40c-e	57,7e-g	71,3d	83,3e	11,6c-e	44c-i
24	10,0a-c	20,7cd	27,7ab	33,3c-f	37,7e-g	55,7f-h	66,7e	72g	10,8c-e	46,3c-h
(%)CV	7.4	3.0	3.0	3.3	3.3	2.9	1.6	1.3	12.3	12.7
Medio	8.54	20.81	27.20	34.33	39.76	60.79	70.79	77.65	12.81	48.56
SE	0.633	0.618	0.815	1.148	1.307	1.741	1.126	1.034	1.575	6.147

1.Baer 2.03-21-079BB 3.Kancolla 4.Canchones 5.CICA-127 6.CICA-17. 7.ECU-420. 8.E-DK-4. 9.02-EMBRAPA. 10.G-205-95. 11.Huariponcho. 12.Illpa. 13.Ingapirca. 14.Jujuy. 15.Kamiri. 16.Narino. 17.NL-6. 8.Ratuqui. 19.Real. 20.03-21-072RM. 21.RU-2. 22. RU-5. 23.Salcedo. 24.Sayana.

S.E Error estándar

Fuente: Oyoo, 2002

Durante la temporada de lluvias largas 1999, cultivar RU 2 registró el menor número de días desde la siembra hasta la emergencia (7,0 días) en la temporada de lluvias largas (Cuadro 4). Otros cultivares, 03-21-079BB, ECU-420 y Salcedo emergieron 7,3 días después de la siembra y E-DK-4 G-205-95 y Real emergieron después de 7,7 días. Canchones (11,0 días) tomó el mayor número de días para emerger. Otros cultivares que

emergieron tarde fueron Sayana, (10,0 días), Baer y CICA 127, (10,3 días) y Kamiri, (10,7 días). En la temporada 1999/2000, cultivar NL-6 registró el menor número de días a emergencia, emergiendo 9,0 días después de la siembra (Cuadro 4). Otros eran RU-2 y Ingapirca, con 9,3 días hasta emerger, 03-21-079BB, 03-21-072RM Kacolla, CICA 17, 02-Embrapa, Canchones y Nariño, todos registrando 9,7 días. El cultivar que emergió más tarde

en la temporada de lluvias cortas era Real, emergiendo 12,3 días después de la siembra. Le siguieron Sayana (11,0 días), Ratuqui, Kamiri, Illpa, Baer y CICA-127, todos emergiendo 10,3 días después de la siembra. Salcedo, Huariponcho, ECU-420 y Jujuy, todos tomaron 10,0 días para emerger.

Kancolla, CICA 127, ECU-420, E-DK-4 Narino y Real, todos tomaron el menor número de días después de la siembra para registrar seis hojas verdaderas (20 días) (Cuadro 4). Otros eran RU-2, Illpa (20,3 días), CICA 17, RU-5, Sayana, 21/03/72 RM, Ingapirca (20,7 días) y 03-

21-079BB (21,0 días). NL-6 tomó el menor número de días hasta registrar seis hojas verdaderas en la segunda temporada (Cuadro 5). Otros eran Ratuqui (23,7 días), Salcedo, 03-21-79BB, Ingapirca, 02-Embrapa y Kancolla todos los cuales tomaron 24,0 días para alcanzar la etapa de seis hojas verdaderas. Real (25,7 días) fue el que tomó más tiempo para llegar a la etapa de seis hojas verdaderas. Canchones y Kamiri registraron el mayor número de días para producir seis hojas verdaderas (22,7 días) seguidos por 02-EMBRAPA y Ratuqui (22,0 días) y Baer (21,7 días) (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** El desempeño medio de 24 variedades de quinua durante la temporada de lluvias cortas de 1999/2000 en Kabete.

<u>Cultivar</u>	<u>Días a emergen- cia</u>	<u>Días a 6 hojas ver- daderas</u>	<u>Días a forma- ción de yemas</u>	<u>Días a antesis</u>	<u>Días al grano lechoso</u>	<u>Días al grano pastoso</u>	<u>Días a la ma- durez</u>	<u>Longitud de panoja (cm)</u>	<u>Produc- ción de biomasa (g/planta)</u>
1	10,33bc	25,0a-c	46,0cd	53,0e-g	60,33h	67,0i	75,0j	15,9cd	16,25h-j
2	9,67cd	25,33ab	45,33b-f	53,0e-g	71,0e	80,33e	89,33f	15,7cd	14,69ij
3	9,67cd	24,0a-d	44,67ef	52,7e-g	70,33ef	77,0f	88,67f	14,3d-h	17,88g-j
4	9,67cd	24,67a-c	44,33f	52,3e-g	60,0h	66,67i	74,0jk	15,27c-e	16,92h-j
5	10,33bc	23,33cd	47,67a	59,67a	81,67c	92,0c	100,3c	21,7a	40,25b
6	9,67cd	24,0a-d	47,33ab	53,33cd	78,33d	86,33d	92,0e	18,23b	34,08c
7	10,0b-d	24,67a-c	48,0a	56,0b	93,0a	112,6a	122,7a	22,53a	41,26b
8	9,33cd	24,67a-c	44,67ef	53,0e-g	60,0h	67,0i	73,jk	14,7d-g	13,86ij
9	9,67cd	24,0a-d	45,0d-f	52,33fg	60,0h	66,67i	73,0jk	13,5d-h	12,97ij
10	9,67cd	24,33a-c	45,0d-f	53,0e-g	60,0h	66,33i	72,33k	12,27g-l	12,53ij
11	10,0b-d	24,67a-c	45,67c-e	53,0e-g	68,67fg	76,67f	88,67f	13,7d-h	19,22f-l
12	10,33bc	24,67a-c	45,33d-f	52,7e-g	61,0h	71,3gh	80,0gh	12,4g-l	25,35ef
13	9,33cd	24,0a-d	46,0cd	53,0e-g	77,0d	85,0d	95,0d	17,27bc	19,31f-l
14	10,0b-d	25,0a-c	45,0d-f	53,67de	61,33h	73,33g	81,33g	15,57c-e	26,46de
15	10,33bc	25,0a-c	45,67c-e	53,67de	62,0h	700h	81,33g	12,1hi	36,45bc
16	9,67cd	24,33a-c	46,67bc	55,0bc	89,0b	104,0b	113,3b	19,1b	70,33a
17	9,0d	22,67d	44,33f	52,0g	60,0h	66,67i	74,67jk	12,47f-l	11,94j
18	10,33bc	23,7d-b	45,33d-f	53,0e-g	61,0h	70,,33h	77,33i	13,13e-l	22,6e-h
19	12,33a	25,67a	45,67c-e	53,0e-g	60,67h	70,0h	78,0hi	12,77f-l	32,25cd
20	9,67cd	24,0a-d	46,0cd	53,0e-g	67,67g	78,67ef	88,0f	14,87d-f	24,91ef
21	9,33cd	24,67a-c	44,67ef	53,33d-f	60,33h	66,33i	72,33k	12,3g-l	14,22ij
22	9,67cd	25,33ab	45,0d-f	52,7e-g	61,33h	69,67h	74,,33jk	13,5d-h	14,52ij
23	10,0b-d	24,0a-d	45,67c-e	53,33d-f	62,0h	73,33g	82,33g	13,8d-h	23,2e-h
24	11,0b	25,67a	45,67c-e	52,7e-g	61,33h	70,,33h	80,33g	11,0i	24,5e-g
medio	9.96	24.47	45.60	53.49	67.0	76.11	84.49	14.96	24.43
%cv	5.9	3.5	1.2	1.2	1.6	1.3	1.1	8.6	14.5
S.E.	0.588	0.851	0.550	0.658	1.061	0.989	0.961	1.293	3.552

1.Baer 2.03-21-079BB 3.Kancolla 4.Canchones 5.CICA-127 6.CICA-17. 7.ECU-420. 8.E-DK-4. 9.02-EMBRAPA. 10.G-205-95. 11.Huariponcho. 12.Illpa. 13Ingapirca. 14.Jujuy. 15.Kamiri. 16.Narino. 17.NL-6. 8.Ratuqui. 19.Real. 20.03-21-072RM. 21.RU-2. 22. RU-5. 23.Salcedo. 24.Sayana.

S.E. Error estándar. Fuente: Oyoo, 2002

Cultivar E-DK-4 tomó el menor tiempo para la ramificación (25,3 días) en la primera temporada (Cuadro 4). NL-6 (25,7 días) y RU-2 (26,0 días). Cultivares 03-21-079BB, 02-Embrapa, Jujuy y Salcedo, tomaron el mayor número de días para la ramificación, todos ramificando en 28,0 días después de la siembra.

El período más corto desde de la siembra hasta la formación de yemas florales en la primera temporada fue 31,7 días, registrado para cultivar G-205-95 (Cuadro 4) mientras que el mayor número de días para la formación de yemas se registró en CICA 127 (36,7 días), CICA17 (36,7 días), ECU-420 (36,7 días) y 03-21-072RM (36,0 días). En la segunda temporada, el primer cultivar en formar yemas florales era Canchones (44,3 días), mientras que 127 CICA tomó el mayor tiempo, formando sus yemas florales en 46,7 días (Cuadro 5).

Durante la temporada de 1999, G-205-95 fue el primer cultivar en alcanzar el 50% de floración en 36,3 días después de la siembra (Cuadro 4). Esto no fue significativamente diferente ( $p \leq 0,05$ ) del número de días observados para NL-6 (37,0 días), Sayana (37,3 días), Jujuy (38,0 días) y Canchones (38,4 días). Cultivares CICA 17 y Narino tomaron el más tiempo para alcanzar el antesis (43,7 días). Otros genotipos tardíos fueron CICA 127 (43,0 días), RU-5 (40,3 días) y Baer (41,0 días). En las lluvias cortas, el tiempo más corto hasta el 50% de floración fue 52,0 días después de la siembra, registrado en cultivar NL-6 (tabla 5). Floración temprana durante este tiempo también fue observado en 02-Embrapa (52,3 días), Kancolla, (52,7 días) Canchones, (52,7 días) RU-5, (52,7 días) Sayana, (52,7 días) y Illpa, (52,7 días). Se observó el mayor número de días hasta el 50% de floración en esta temporada en CICA127 (56,7 días). Los otros cultivares que florecieron tarde incluyeron ECU-420 (56,0 días), Narino, (55,0 días) y CICA17, (53,3 días). Estos también fueron los genotipos con los mejores rendimientos de grano.

El cultivar más temprano en alcanzar la etapa de grano lechoso en 1999 fue Ratuqui, que tomó 51,7 días (Cuadro 4). Cultivares E-DK-4, G-205-95, NL-6 y RU-2 (52 días después de la siembra), Real (52,7 días) y Canchones, (53,7 días) también alcanzaron esta característica tempranamente. Los períodos más largos para la formación de grano lechoso durante las lluvias largas se registraron en ECU-420 (84,3 días) y Narino (84,3 días). Estos fueron seguidos por CICA 127 (72,7 días), 03-21-072RM (71,0 días) y Ingapirca (71,0 días). Resultados

obtenidos en la temporada 1999/2000 muestran que ED-K-4, Canchones, 02-Embrapa y NL-6, tomó el menor número de días (60,0) después de la siembra para llegar a la etapa de grano lechoso mientras ECU-420 (93,0 días) fue el que más días tomó (Cuadro 5).

Cultivar, G-205-95 fue el más temprano en formar granos pastosos (en 60,3 días después de la siembra), en 1999 (Cuadro 4). En los otros cultivares, los días para llegar a la etapa de grano pastoso no fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) de la de G-205-95: E-DK-4 (61,0 días), 02-Embrapa (61,0 días), NL-6 (61,0 días) y RU-2 (61,0 días). El período más largo para llegar a la etapa de granos pastosos se registró en Narino (91,0 días) y ECU-420 (90,7 días). Estos fueron seguidos por Ingapirca (80,3 días), CICA 127 (79,7 días). En las lluvias cortas (66,3 días), RU-2 G-202-95 (66,7 días), ED-K-4 (67,0 días), Canchones (66,7 días) y Baer (66,7 días) eran los primeros cultivares en alcanzar la etapa de granos pastosos (cuadro 5). Los cultivares que tomaron el mayor tiempo para alcanzar su etapa de grano pastoso fueron ECU-420 (112,67 días) seguida de Narino (104,0 días) y CICA 127 (92,0 días).

Los cultivares que maduran más rápidamente durante la temporada de lluvias largas de 1999 en Kenia fueron RU-2, 6-NL, ED-K-4 02-Embrapa (65,0 días) y G-205-95 en 65,7 días (Cuadro 4). Otros eran Baer (70,7 días), Real (71,7 días), Sayana (72,0 días), Canchones (72,0 días) y RU-5, Illpa y Jujuy (73,0 días). Los otros cultivares que tardaron en alcanzar la madurez incluyeron ECU-420 (97,7 días), Narino, (97,0 días) y CICA17, (90,3 días). Cultivar ECU-420 (122,7 días) fue el último en alcanzar la madurez fisiológica de la semilla en la temporada 1999/2000 (Cuadro 5). Cultivares Narino (113,3 días) y CICA 127 (100,33 días) fueron segundo y tercero respectivamente. Los cultivares que alcanzaron la madurez primero en la segunda temporada fueron G-205-95 y RU-2, ambos alcanzando la madurez en 72,33 días después de la siembra (Cuadro 5). Días a madurez fisiológica en estos dos cultivares no fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) de los registrados en ED-K-4 (73,0 días), 02-Embrapa (73,0 días), Canchones (74,0 días) RU-5 (74,33 días) y NL-6 (74,67 días).

La panoja más larga durante las lluvias largas fue registrada por CICA 17 (21,8 cm) (Cuadro 4). Esto fue significativamente diferente ( $p \leq 0,05$ ) a la de Narino (15,4 cm) y CICA 127 (15,2 cm). El

cultivar con la panoja más corto fue Canchones (9,7 cm). Los otros cultivares con panoja corta durante este tiempo fueron 03-21-079BB (12,6 cm), Kancolla (10,6 cm), G-205-95 (11,6 cm) Illpa (12,1), Kamiri (11,1 cm), NL-6 (11,1 cm), Ratuqui (10,6 cm), 03-21-072RM (11,7), RU-2 (12,5 cm), Salcedo (16,6 cm) y Sayana (10,8 cm). ECU-420 y CICA127 tenían las panojas más largas de 22,5 cm y 21,7 cm respectivamente en la temporada de lluvias cortas de 1999/2000 (Cuadro 3). Otros en esta temporada fueron Nariño y CICA 17 (19,1 y 18,33 cm respectivamente). El cultivar con la panoja más corta era Sayana (11,0 cm). Los otros cultivares con panojas de longitud medio que no fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) de la de Sayana incluyeron: RU-2 (12,3 cm), Real (12,77 cm), Kamiri (12,1 cm), Ratuqui (13,13 cm), NL-6 (12,47 cm), Illpa (12,4 cm) y G-205-95 (12,27 cm).

Narino tenía la mayor producción de biomasa de 107,3 g por planta en la primera temporada de lluvias (Cuadro 4). Esta producción de biomasa fue significativamente diferente ( $p \leq 0,05$ ) de las de CICA 17 (87,1 g), CICA 127 (55,1 g). La producción de biomasa más baja se registró en cultivar Jujuy (34,0 g) seguido por Ingapirca con 35,5 g, Illpa (35,5 g), Huariponcho (37,4 g) y G-205-95 (37,8 g). Narino (70,3 g) también tuvo la mayor producción de biomasa en la segunda temporada (Cuadro 5). En la segunda temporada, una baja producción de biomasa se registró en los cultivares NL-6 (11,94 g), G-205-95 (12,53 g), 02-Embrapa (12,97 g), ED-K-4 (13,86 g), 03-21-079BB (14,69 g), RU-2 (14,22 g) y RU-5 (15,52 g).

En altura de la planta, la menor, de 74,0 cm en 1999 se registró para Canchones y NL-6 (84,8 cm) (Cuadro 6). Los otros genotipos bajos fueron G-205-95 (92,3 cm), Jujuy (97,3 cm) y Real (92,5 cm). Los cultivares más altos en esta temporada fueron Narino (167,9 cm), CICA 127 (164,6 cm), ECU-420 (160,9 cm) y CICA 17 (146,4 cm.). En la temporada 1999/2000, NL-6 registró la menor altura de 39,8 centímetros en la madurez (Cuadro 5). Otros eran RU-5 (53,2 cm), G-205-95 (53,87 cm), 02-Embrapa (53,4 cm) y Canchones (54,13 cm). El genotipo más alto fue CICA 127 con una altura de 132,66 cm. Otros cultivares altos eran ECU-420 (117,87 cm) y Narino (113,63 cm) (Table 7). Plantas más altas también tenían rendimientos superiores de grano y de biomasa en estos ensayos.

Canchones tuvo el menor número de ramas (14,3) en la temporada de lluvias largas (Cuadro 6). Otros con menos ramas eran NL-6 (15,7) y Sayana (18,0). Los cultivares altamente ramificados fueron Narino (27,0) y ECU-420 (24,7), 03-21-079BB (23,7) y Kancolla (23,3). Los cultivares no eran tan ramificados en la temporada 1999/2000 como estaban en 1999 (lluvias largas). Durante las lluvias cortas, Baer (2,7), 02-Embrapa (2,2), G-205-95 (2,0) y (2,0) tenían el menor número de ramas, mientras CICA 127 (11,3) era el cultivar más ramificado (Cuadro 7). Otros cultivares altamente ramificados en la segunda temporada fueron Narino, (9,7) y ECU-420 (9,3).



**Cuadro 6.** El desempeño medio de 24 variedades de quinua durante la temporada de lluvias largas de 1999 en Kabete.

<u>Cultivar</u>	<u>Altura de la planta (cm)</u>	<u>No. de ramas por planta</u>	<u>Anchura de la lámina foliar (cm)</u>	<u>Longitud del pecíolo (cm)</u>	<u>Tamaño de la semilla (μm)</u>	<u>Índice de cosecha</u>	<u>Rendimiento de semilla por planta (g)</u>
1	127,7cd	22,7b-d	50,7bc	51,3c-e	1,,98f-h	0,21d	13,4e-g
2	122,3cd	23,7a-c	45,3c	51,3c-e	1,97f-h	0,29b-d	12,8fg
3	123,9cd	23,3a-c	44,3c	53c-e	1,96f-h	0,34a-d	17,5c
4	74,0i	14,3g	42,7c	48de	2,17b-d	0,24cd	10,6g
5	164,6a	20,7b-e	59,7ab	65,3ab	2,03d-h	0,34a-d	22,2b
6	146,,4b	20,7b-e	51,3bc	63ac	2,34a	0,,30b-d	25,7a
7	160,9a	24,7ab	49,0bc	60ad	1,90h	0,31b-d	16,7cd
8	115,4de	21,3b-e	48,0c	51,3c-d	2,01e-h	0,38a-c	16,2c-e
9	104,3e-g	21,7b-e	50,3bc	54,,7b-e	1,90h	0,31b-d	13,9d-f
10	92,3gh	19,3c-f	51,3bc	51,7c-e	2,06d-g	0,35a-c	13,4e-g
11	115,6de	22,3b-d	45,3c	49,3de	1,88h	0,41ab	15,3c-f
12	109,9def	19,3c-f	43,3c	48,3de	2,27a-c	0,47a	16,2c-e
13	134,9bc	21,3b-e	43,3c	49,7de	1,87h	0,,30b-d	14,1d-f
14	97,3f-h	21,0b-e	44,3c	49de	2,16c-e	0,32b-d	10,,7g
15	111,8d-f	21,7b-e	44,7c	51,7c-e	2,27ab	0,33a-d	16,4c-e
16	167,9a	27,0a	65,7a	68,3a	2,08d-g	0,25cd	26,5a
17	84,8hi	15,7fg	41,7c	47,3de	1,97f-h	0,4ab	14,2d-f
18	99,2f-h	17,3e-g	47,3c	51,3c-e	2,07d-g	0,31b-d	14,0d-f
19	92,5gh	20,3b-e	45,7c	49,7de	2,40a	0,34a-d	13,6d-g
20	132,8bc	22,0b-d	48,7b	50de	1,96f-h	0,41ab	16,2c-e
21	104e-g	21,3b-e	41,0c	45,3e	1,,92gh	0,37a-c	147c-f
22	114,2de	22,0b-d	48,7bc	55b-e	1,,89h	0,34a-d	14,9c-f
23	122,2cd	19,0c-f	44,0c	50,7c-e	2,11d-f	0,33a-d	14,3d-f
24	98,9f-h	18de-g	41,3c	44e	2,07d-g	0,31b-d	14,2d-f
(%)CV	6.7	11.1	12.4	12.6	4.1	20.4	10.6
Medio	117.12	20.90	47.39	52.51	2.05	0.33	15.73
S.E.	7.902	2.319	5.882	6.630	0.084	1.666	0.068

1.Baer 2.03-21-079BB 3.Kancolla 4.Canchones 5.CICA-127 6.CICA-17. 7.ECU-420. 8.E-DK-4. 9.02-EMBRAPA. 10.G-205-95. 11.Huariponcho. 12.Illpa. 13Ingapirca. 14.Jujuy. 15.Kamiri. 16.Narino. 17.NL-6. 8.Ratuqui. 19.Real. 20.03-21-072RM. 21.RU-2. 22. RU-5. 23.Salcedo. 24.Sayana.

S.E. Error estándar. Fuente: Oyoo, 2002

Resultados obtenidos en el ensayo de 1999 indicaron que Real y CICA 17 tenían las semillas más grandes de 2,40µm y 2,34µm respectivamente (Cuadro 6). Otros eran Kamiri (2,22µm) y Illpa (2,27µm). Huriponcho, (1,88µm), RU-5 (1,89µm) Ingapirca (1,89µm), 02-EMBRAPA (1,90µm) y ECU-420 (1,90µm) tenían semillas pequeñas. En la temporada 1999/2000, Ingapirca y Kancolla tenían las semillas más pequeñas, de 1,86µm (Cuadro 7). Fueron seguidos por ECU-420 con un tamaño de semilla de 1,87µm. Otros eran Ingapirca, Kancolla y ECU-420 Baer (1,96µm), 03-21-079BB (1,89µm) 02-Embarapa (1,88µm) Huaripochó (1,88µm) Nariño, (1,97µm), 03-21-072RM (1,89µm) RU-2 (1,93µm) y RU-5 (1,88µm). Durante esta temporada, Sayana (2,32µm) registró las semillas más grandes seguidos por Ratuqui (2,28µm), Kamiri (2,23µm), Illpa (2,23µm) y CICA 17 (2,22µm).

ILLPA (0,47) tenía el índice de cosecha más alto en la temporada de 1999 (Cuadro 4). Otras variedades, que tenían índices de cosecha altas, eran Kancolla (0,34), CICA125 (0,34), ED-K-4 (0,38) Huriponcho (0,41), NL-6 (0,40) Kamiri (0,33) 03-21-072RM (0,41), RU-5 (0,34) y Salcedo (0,33). El índice de cosecha más bajo se registró en Baer (0,21). Otros con índices de cosecha bajos eran Canchones (0,24) y Narino (0,25). 03-21-079BB (0,48), ED-K-4 (0,49) y NL-6 (0,43) tuvieron los índices de cosecha más altos en la temporada 1999/2000 (Cuadro 7). El cultivar con el menor índice de cosecha era Real (0,15). Otros con índices de cosecha bajos eran CICA 127 (0,18), ECU 420 (0,20), Nariño (0,17) y Kamiri (0,17).

Narino y CICA 17 tuvieron los mayores rendimientos de semilla de 26,5 g y 25,7 respectivamente, durante la primera temporada de lluvias (Cuadro 6). Cultivares CICA 127 (22,2 g) y Kancolla (17,5 g) también tuvieron rendimientos de grano altos en esta temporada. Se obtuvieron los rendimientos de semilla menores en Canchones (10,6 g) y Jujuy (17,2 g). En la temporada 1999/2000 resultados de rendimiento de semillas obtenidas eran muy bajos en comparación con la primera temporada de lluvias, con Narino registrando el mayor rendimiento de grano de 11,8 g (Cuadro 7). CICA registró 17,930 g, mientras que el ECU-420, 8,1 g. Cultivar G-205-95 tuvo el rendimiento de grano más bajo en la temporada de lluvias cortas (4,0g).

#### **Análisis de correlación.**

En las dos temporadas, los días hasta la formación de yemas florales, días a la etapa de grano pastoso, días a la etapa del grano lechoso, días a la madurez fisiológica, la longitud de panoja, la producción de biomasa y la

altura de la planta tuvieron una correlación alta y positiva con el rendimiento de semilla. El respectivo coeficiente de correlación entre el rendimiento de semilla por planta y las caracteres antes mencionadas eran 0,664, 0,774, 0,530, 0,518, 0,721, 0,854 y 0,773 para la primera temporada y 0,580, 0,789, 0,760, 0,741, 0,646, 0,780 y 0,692 para la segunda temporada.

Las correlaciones entre el rendimiento de semillas por planta con 50% de floración (0,768), longitud del pecíolo (0,821), longitud de la lámina foliar (0,717) y anchura de la lámina foliar (0,595) eran altos y positivos en la temporada de lluvias largas. Las correlaciones entre rendimiento de semillas por planta con días a la ramificación (0,583) y número de ramas (0,686) también eran altos y positivos en la segunda temporada. Otros caracteres que tenían correlaciones positivas y significativas con el rendimiento de semillas por planta fueron el número de ramas por planta (0,479) en la temporada de lluvias largas y la longitud del pecíolo (0,428) en la temporada de lluvias cortas. Análisis de correlación de los componentes del rendimiento claramente destacaron la importancia de la producción de biomasa para el rendimiento de semillas entre todos los caracteres estudiados.

#### **Análisis de Coeficiente de Ruta.**

Oyoo (2002) también hizo análisis de coeficiente de ruta. Los resultados del análisis de ruta que se realizó para estimar los efectos directos e indirectos de los diversos componentes de rendimiento sobre el rendimiento (Cuadros no se muestra). Se informó que los efectos residuales ( $R^2$ ) fueron 0,3729 en la primera temporada de lluvias y 0,1901 en la segunda, lo que sugiere que los caracteres medidos podrían explicar 37,29% y 19,0% de la variabilidad total del rendimiento para la primera y segunda temporada respectivamente.

El análisis del coeficiente de ruta en 1999 reveló que la producción de biomasa por planta tuvo el mayor efecto directo (0,7438) seguido por días para la madurez fisiológica (0,6294) y el índice de cosecha (0,4257). Días a granos lechosos, días para la formación de granos pastosos, número de ramas por planta y la longitud del pecíolo que mostraron una correlación positiva y significativa con el rendimiento de grano, exhibieron efectos negativos directos de -0,3848, -0,2047, -0,0702 y -0,0722 respectivamente. La contribución directa de días a la formación de yemas florales, días al 50% de floración, altura de la planta, anchura de la lámina foliar y longitud de la lámina foliar eran bajas (0,1741, 0,0024, 0,0483, -0,0722 y 0,1336 respectivamente) aunque eran altamente asociadas al rendimiento de

grano en la primera temporada.

En la segunda temporada, la producción de biomasa tuvo los efectos directos positivos más altos (0,7907) en el rendimiento de semillas. Esto fue seguido por el índice de cosecha (0,5501) y longitud de la lámina foliar (0,5056). Días a la formación de grano lechoso y días a la formación de yemas florales también tuvieron un efecto directo y alto en el rendimiento (0,3710 y 0,3093

respectivamente). Los coeficientes de ruta indican que la producción de biomasa y el índice de cosecha tienen un fuerte efecto directo sobre el rendimiento de semillas en las estaciones de las lluvias largas y las lluvias cortas. Esto sugiere que la producción de biomasa y el índice de cosecha podrían ser buenos predictores de rendimiento y el rendimiento podría aumentarse indirectamente mediante la selección de estos caracteres.

**Cuadro 7:** Rendimiento promedio de 24 cultivares de la quinua en la temporada de lluvias baja 1999/2000.

<u>Cultivar.</u>	<u>Altura de la planta (cm)</u>	<u>No de ramas por planta</u>	<u>Anchura de la lámina foliar (mm)</u>	<u>Largo de la lámina foliar (mm)</u>	<u>Longitud del pecíolo de la hoja (mm)</u>	<u>Tamaño de la semilla (µm)</u>	<u>Índice de cosecha</u>	<u>Rendimiento de semilla por planta (g)</u>
1	62,23fg	2,,7g	48,67b	65,67bc	38,67b-f	1,96e-h	0,,34b-g	5,61e-h
2	81,47c-e	6,0 c-e	37,33d-g	52,0f-j	38,33b-f	1,89gh	0,48a	6,99c-e
3	83,17cd	5,73c-f	40,33b-f	54,67e-j	39,0b-f	1,,86h	0,38b-c	6,71c-f
4	54,13gh	5,03c-f	30,33g	46,33j	37,33d-f	2,2bc	0,35b-e	5,78d-h
5	132,66 <sup>a</sup>	11,27a	58,33a	71,67ab	63,76a	1,99e-g	0,18j-l	7,21cd
6	90,17c	7,2c	38,0d-g	52,33f-j	42,0b-e	2,22a-c	0,27d-j	9,23b
7	117,87b	9,27b	64,67a	74,0a	64,67a	1,87h	0,2 i-l	8,08bc
8	66,43fg	3,8e-g	45,0b-e	64,33c-e	39,0b-f	2,07de	0,49a	6,74c-f
9	53,4gh	2,2g	42,0b-f	61,33c-e	36,0ef	1,89gh	0,37b-d	4,75hi
10	53,87gh	2,0g	36,0e-g	54,33e-j	30,33f	2,06de	0,32c-h	3,95i
11	76,0c-f	5,0c-f	34,33fg	48,0h-j	33,33ef	1,89gh	0,32c-h	6,22d-h
12	66,17fg	5,7c-f	42,33b-f	50,0g-j	39,67b-f	2,23a-c	0,26e-k	6,41d-g
13	83,07cd	6,4c	44,0b-e	60,0c-f	49,0b	1,,86h	0,28c-i	5,44f-h
14	67,57e-g	4,1d-g	40,33b-f	49,67g-j	38,33b-f	2,02ef	0,22i-l	5,65e-h
15	61,63fg	5,23c-f	37,33d-g	49,0h-j	38,0c-f	2,23a-c	0,17kl	5,97d-h
16	113,63b	9,7ab	48,0bc	57,67c-g	48,33bc	1,97e-h	0,17kl	11,79a
17	39,77h	1,97g	46,33b-d	62,33c-e	37,33d-f	2,04d-f	0,43ab	5,17g-i
18	67,7e-g	5,33c-f	40,67b-f	51,67f-j	39,33b-f	2,28ab	0,24g-l	5,13g-i
19	75,93c-f	7,17c	41,0b-f	55,33e-i	47,33b-d	2,22a-c	0,15l	4,77hi
20	85,9cd	6,03c-e	42,0b-f	56,33d-h	42,0b-e	1,89gh	0,21i-l	5,11g-i
21	54,5g	3,53fg	39,0c-g	56,33d-h	39,67b-f	1,93f-h	0,39bc	5,46f-h
22	53,2gh	3,67fg	40,0b-f	59,0c-f	40,33b-f	1,89gh	0,34b-f	4,96g-i
23	72,8d-f	5,37c-f	47,33bc	58,67c-f	47,67b-d	2,14cd	0,25f-l	5,72e-h
24	65,67fg	6,07c-e	36,0e-g	42,33i-j	38,67c-f	2,32a	0,24h-l	5,61e-h
Medio	74,57	5,44	42,00	42,33	56,63	2,04	6,19	0,29
% CV	9,4	21,3	12,9	10,9	7,6	3,1	12,3	18,2
S.E.	7,042	1,158	5,419	4,631	4,323	0,063	0,759	0,053
1.Baer	2.03-21-079BB	3.Kancolla	4.Canchones	5.CICA-127	6.CICA-17.	7.ECU-420.	8.E-DK-	
4.	9.02-EMBRAPA.	10.G-205-95.	11.Huariponcho.	12.Illpa.	13Ingapirca.	14.Jujuy.	15.Kamiri.	
16.Narino.	17.NL-6.	8.Ratuqui.	19.Real.	20.03-21-072RM.	21.RU-2.	22. RU-5.	23.Salcedo.	
24.Sayana.								

Fuente: Oyoo, 2002

La conclusión del estudio fue que Narino, CICA-127, CICA-17 y ECU-420 parecían ser cultivares superiores en términos de producción de biomasa y rendimiento de semilla y que, estudios de adaptabilidad y estabilidad de rendimiento en varios ambientes kenianos, podrían ser necesarios para que los diferentes genotipos de quinua puedan ser recomendados para el cultivo en regiones agroecológicas diferentes. Sin embargo, después de eso no se han realizado más estudios y las semillas no fueron preservadas para futuros ensayos en Kenia. Sin embargo, para promover la producción y utilización de la quinua en este país y otras regiones del mundo con un clima similar, los esfuerzos deben ser puestos en la caracterización y evaluación morfológica y genética de germoplasma de la quinua.

La quinua puede encajar en los agro-ecosistemas degradados de Kenia, donde la productividad es baja y el trabajo del ser humano no es el factor limitante de la producción. Por lo tanto, la cosecha puede ser utilizada para fines de adaptación al cambio climático y como una reserva para la seguridad alimentaria ya que rinde bien en áreas de baja fertilidad y en lugares con pocas precipitaciones y donde los agricultores utilizan pocos insumos agrícolas como fertilizantes y productos químicos para el control de plagas y enfermedades. Esto está en línea con las recomendaciones de Khanal, (2009), para la adaptación al cambio climático y también

aumentaría la variedad de especies en los agro-ecosistemas que posiblemente hayan sufrido erosión genética debido a la falta de idoneidad de algunos cultivos como consecuencia del cambio climático. La ventaja de este cultivo en la situación de Kenia, es que se ha demostrado la capacidad de rendir especialmente bajo condiciones de baja precipitación (Elmer, 1942) y con el país siendo clasificado como un 80% árida y semi-árida, puede ser utilizado en esas áreas.

#### **Uso Potencial de la Quinua como Abono Verde para la Supresión del Nematodo Agallador.**

En una investigación realizada por la Universidad de Nairobi, Kimenju et al. (2008) llevaron a cabo un experimento para determinar la idoneidad de las plantas como abono verde, entre ellas la quinua, como cultivos de rotación con el frijol común para suprimir el nematodo agallador (*Meloidogyne spp*). Las plantas también fueron evaluadas como enmiendas del suelo en el control de nematodos. Los resultados presentados en los cuadros 8 y 9 sugirieron que la quinua no disminuyó el índice de masa de huevos del nematodo agallador en el frijol común y puede no ser adecuada para el control de esta plaga cuando se utiliza como un cultivo de rotación en Kenia. Sin embargo cuando se utilizó como un abono verde, la quinua era uno de los cultivos que registró la mayor reducción del índice de masa de huevos para el control del nematodo agallador.



**Cuadro 8:** Índices de agallo, índices de masa de huevos y factores reproductivos de *Meloidogyne javanica* en el frijol común interplantada con plantas de abono verde en un invernadero

Planta de abono verde	GI	EMI	Rf
<i>Calliandra calothyrsus</i>	4,1	3,5	1,6
<i>Canavalia ensiformis</i>	4,1	3,0	2,0
<i>Chenopodium quinoa</i>	4,8	6,2	3,0
<i>Crotalaria juncea</i>	3,7	3,8	0,8
<i>Desmodium uncinatum</i>	2,8	3,2	1,0
<i>Gliricidia sepium</i>	3,4	2,7	1,2
<i>Leucaena leucocephala</i>	3,8	3,3	1,2
<i>Mucuna pruriensis</i>	5,5	2,2	0,5
<i>Sesbania sesban</i>	4,7	3,8	4,5
<i>Tagetes minuta</i>	2,2	2,5	0,9
<i>Tephrosia purpurea</i>	6,7	5,8	5,2
<i>Tithonia diversifolia</i>	2,7	2,5	0,8
<i>Vicia villosa</i>	8,2	6,7	5,7
<i>Phaseolus vulgaris</i> monocultivo	4,8	5,7	3,0
LSD ( $p \leq 5$ )	1,4	1,5	0,2
CV(%)	29,9	36,2	9,7

Fuente: Kimenju et al. (2008)

**Cuadro 9:** Índices de agallo: índices de masa de huevos y factores reproductivos de *Meloidogyne javanica* en el frijol común interplantada con plantas de abono verde en un invernadero

Planta de abono verde	GI prueba		EMI prueba		Rf
	I	II	I	II	
<i>Calliandra calothyrsus</i>	4,50	3,90	4,70	4,10	1,60
<i>Canavalia ensiformis</i>	2,50	2,20	2,70	2,90	3,40
<i>Chenopodium quinoa</i>	3,70	4,40	5,30	5,70	3,50
<i>Crotalaria juncea</i>	1,00	1,20	1,70	1,20	0,70
<i>Desmodium uncinatum</i>	1,20	1,10	1,50	1,10	0,40
<i>Gliricidia sepium</i>	1,20	1,00	1,20	1,00	1,00
<i>Leucaena leucocephala</i>	1,20	1,00	1,30	1,00	0,30
<i>Mucuna pruriensis</i>	2,20	2,10	2,70	2,40	2,30
<i>Sesbania sesban</i>	6,20	5,70	8,50	7,60	5,40
<i>Tagetes minuta</i>	1,30	1,60	1,50	1,70	0,20
<i>Tephrosia purpurea</i>	7,70	7,70	9,00	7,60	5,70
<i>Tithonia diversifolia</i>	1,00	1,40	1,20	1,50	0,60
<i>Vicia villosa</i>	6,20	7,00	9,00	7,90	6,00
<i>Phaseolus vulgaris</i> monocultivo	4,50	5,60	9,00	7,40	4,40
LSD ( $p \leq 5$ )	0,25	0,23	0,23	0,21	0,34
CV(%)	8,1	7,40	5,40	5,80	13,50

Fuente: Kimenju et al., 2008

Otra mención de trabajo con la quinua en Kenia se ha hecho Participatory Ecological Land Use Management-Kenya (PELUM) en su programa Grow Bio Intensive Agriculture pero no se proporcionan más detalles (PELUM, [www.pelum.net](http://www.pelum.net)).

### Usos y Mercados.

La quinua actualmente no está siendo cultivada en el país. Sin embargo, algunos de sus productos se encuentran en las grandes cadenas de supermercados en grandes ciudades del país. El origen es principalmente de Europa y América del sur. Para las poblaciones locales, el cultivo permanece desconocido. Esto nos indica que el cultivo tiene el potencial en términos de consumo, si es que se produjera a nivel local. Existe un marco legal en el país que regula cualquier material genético vegetal para el manejo y utilización sostenible de sus recursos genéticos en beneficio del pueblo. Para lograr esto, existen diversos órganos para facilitar este propósito. Estos incluyen el Kenya Plant Health Inspection Service (KEPHIS- servicio de inspección de salud vegetal de Kenia), el National Environmental Monitoring Authority (NEMA- Autoridad nacional de monitoreo ambiental) a través de la ley de gestión y coordinación ((EMCA), la conservación de la diversidad y recursos biológicos, acceso a recursos genéticos y participación en los beneficios) y el National Council for Science and Technology (NCS&T- el consejo nacional de ciencia y tecnología).

### Conclusiones y Perspectivas.

Es lamentable que un cultivo como la quinua con una historia de introducción tan larga no haya logrado captar el interés de los investigadores y la comunidad agrícola después de mostrar su capacidad de rendimiento desde el año 1935. Las razones de esto son una cuestión de conjeturas. Como si eso no fuera suficiente, incluso después de su reintroducción en 1999, el cultivo todavía no pudo capturar el interés de agricultores ni de investigadores. Un chequeo en el banco de genes de Kenia no proporciona mucha información sobre el cultivo y hasta la fecha, no hay señales de que la planta fue cultivada en las parcelas experimentales de la Universidad de Nairobi. Ante el cambio climático y el pobre estado nutricional de la zona rural de Kenia, la quinua tiene la capacidad para cambiar tanto el paisaje de cultivos y el estado

nutricional sobre todo para las poblaciones rurales y en especial para las personas de zonas marginales que apenas pueden alimentarse por sí mismos. La domesticación del cultivo es necesario no sólo para fines nutricionales, sino también como un medio de diversificación de los sistemas de cultivo para que las explotaciones agrícolas sean resistentes al cambio climático y también pueden aumentar su renta.

### Referencias.

- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, (Eds) (2008). Climate Change and Water. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 210 pp.
- Bertero HD, AJ de la Vega, G Correa, SE Jacobsen y A Mujica (2004). Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) As revealed by pattern analysis of international multi-environment trials, Field Crops Research 89:299–318.
- Bojanic, A (2011). Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Eisa, S, S. Hussin, N. Geissler y H.W. Koyro (2012). Effect of NaCl salinity on water relations, photosynthesis and chemical composition of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a potential cash crop halophyte Journal of Crop Science 6(2):357-368.
- Elmer, L.A (1942). Quinoa (*Chenopodium quinoa*). The East African Agricultural Journal Vol. 8:21-23.
- Fleming, J.E y N.W Galwaey (1995). Quinoa (*Chenopodium quinoa*). En: J.T Williams (Ed). Cereals and Pseudocereals. Chapman Australian Chapman & Hall Londres ISBN 0 412 46570 1 pp 3-71.
- Government of Kenya (GoK) (2010). Agricultural sector development strategy 2010–2020 Ministerio de Agricultura, Nairobi.
- Government of Kenya (GoK) (2011). National Food And Nutrition Security Policy. Agricultural Sector Coordination Unit (ASCU) Nairobi.
- Jacobsen S-E, (2003). The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Food Reviews International 19, Nos. 1&2, pp. 167–177.

Jacobsen, S.E y A Mujica, (2002). Genetic resources and breeding of the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* **Willd.**). Plant Genetic Resources Newsletter No. 130:54-61.

Kimenju, J.W; A.M. Kagundu; J.H Nderitu; F. Mambala; G.K Mutua y G.M. Kariuki (2008). Incorporation of green manure into bean cropping systems contribute to root-knot nematode suppression. *Asian Journal of Plant Science* **7**(4):404-408

Khanal, R.C (2009). Climate Change and Organic Agriculture, A Review paper. *The Journal of Agriculture and Environment* **10**,:100-109.

Mutegi E., Muthamia Z.K., Mutisya J. y Muoki S (2005). Study on the extent of utilization of plant genetic resources in Kenya.

Nyoro, J (2011). Food security in Kenya: Implications for policy. The Rockefeller Foundation, Nairobi.

Ojany, F.F y Ogendo, R.B (1988). Kenya: A Study in Physical and Human Geography. Longman Kenia.

Oyoo, M.E; S.M. Githiri y P.O. Ayiecho (2010). Performance of some quinoa (*Chenopodium quinoa* **Willd.**) genotypes in Kenya, South African Journal of Plant & Soil, 27(2) 187-190.

Participatory Ecological Land Use Management Association (PELUM-Kenya) (Año). Climate Change Mitigation & Biodiversity Conservation [www.pelum.net](http://www.pelum.net).

El Hafid R, (2005). Quinoa -The Next Cinderella Crop for Alberta? Alberta Agriculture, Food and Rural development Ag-Entrepreneurship

## SUB PARTE 6.4. NORTE AMÉRICA Y BRASIL

### CAPÍTULO: 6.41

## TÍTULO: LA QUINUA EN LOS ESTADOS UNIDOS Y CANADÁ

\*Autor para correspondencia: Adam Joshua PETERSON  
[adam.j.peterson@email.wsu.edu](mailto:adam.j.peterson@email.wsu.edu)

ADAM JOSHUA PETERSON<sup>a</sup>, KEVIN MATTHEW MURPHY<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Dept. of Crop and Soil Sciences, Washington State University, PO Box 646420, Pullman WA 99164-6420, Estados Unidos. Tel: (509)335-9692

### Resumen

La quinua como cultivo y como alimento tiene una historia relativamente reciente en Norte América. Durante la década de los 80, se llevaron a cabo una considerable cantidad de investigaciones impulsadas por la Universidad Estatal de Colorado. Las investigaciones agronómicas y los esfuerzos de fitomejoramiento establecieron a la quinua como un cultivo para lugares de elevada altitud en las Montañas Rocosas. En esa época, también se llevaron a cabo múltiples iniciativas privadas, que dieron como resultado el cultivo comercial de la quinua en las praderas canadienses y en el Estado de Washington. Se descubrió que las variedades chilenas que crecían a nivel del mar eran las mejor adaptadas para latitudes templadas y el germoplasma chileno ha sido la base para el desarrollo de las variedades de quinua. Entre los mayores desafíos para la quinua en Norte América están la susceptibilidad al calor, la remoción de la saponina, y la presión de las malezas y los insectos. A medida que la quinua se expande a nuevos medioambientes en Norte América, pueden aparecer otros desafíos para su cultivo, tales como la germinación pre-cosecha así como nuevas plagas y enfermedades. A pesar de su creciente popularidad, la demanda por la quinua en América del Norte excede con mucho la oferta. En la actualidad, las investigaciones sobre la quinua están

siendo llevadas a cabo por la Universidad Brigham Young, que investiga los aspectos fisiológicos de la tolerancia a la salinidad, la genética y genómica de la quinua en colaboración con PROINPA. La Universidad Estatal de Washington inició recientemente un programa de fitomejoramiento y ha llevado a cabo investigaciones agronómicas que exploran el potencial de la quinua como cultivo en la región Noroeste de la Costa Pacífica. Además, investigadores de diversas instituciones han investigado los patógenos de la quinua, la arqueología de su domesticación y la filogenia de *Chenopodium*. Para la futura diseminación de la quinua en América del Norte, el desarrollo de variedades de quinua de maduración precoz, libres de saponina y con una mayor tolerancia al calor será fundamental para su éxito como cultivo. Además, el desarrollo de líneas con mayor resistencia al mildiu y mayor tolerancia a la germinación pre-cosecha ayudará en la expansión de dicho cultivo en Norte América.

### Introducción.

La quinua representa un cultivo de introducción relativamente reciente en Norte América. Aunque los esfuerzos reportados por cultivar la quinua se remontan hasta la década de 1900 (Caldwell 2013), el interés por el cultivo comenzó a crecer durante las décadas de 1970 y 1980. Los esfuerzos realizados por compañías de semillas y particulares



resultaron en el cultivo de las primeras variedades a fines de la década de 1970 y comienzos de la década de 1980 (Wood 1989).

La historia de la quinua como cultivo comercial empezó a comienzos de los 80, cuando los esfuerzos de una sociedad conjunta entre Sierra Blanca Associates y la Universidad Estatal de Colorado llevaron a su introducción dentro de los Estados Unidos (Johnson 1990). Las investigaciones prosiguieron en la Universidad Estatal de Colorado hasta el 2003, y también han habido investigaciones llevadas a cabo en la Universidad Brigham Young desde 1988 (Historia de Investigación 2012; Ward S 2013, comunicado personal, 31 Mayo).

En América del Norte, la quinua sigue siendo un cultivo de nicho limitado a áreas geográficas específicas. En la actualidad, el área de mayor cultivo de la quinua en América del Norte se ubica en las Provincias de las Praderas en Canadá, en donde el cultivo se estableció a comienzos de las noventas a través de la Northern Quinoa Association y posteriormente la Northern Quinoa Corporation (Dutchshen M 2013, comunicado personal, 28 Mayo). El área cultivada de quinua se registra entre 20-40 ha en el Valle San Luis en Colorado (McCamant J 2013, comunicado personal, 19 Mayo), alcanzándose la mayor extensión de áreas cultivadas en 1992 (Tobin 1995). La quinua también se cultivó exitosamente en el Norte del Estado de Washington a fines de los 1980 y comienzos de los 1990 (Marcille J 2013 comunicado personal, 19 Mayo). Ward (1994) registra más de 500 ha de quinua cultivadas en el Sur de Colorado, Wyoming y el Norte de Nuevo México.

En años recientes, el interés en la quinua como alimento ha crecido rápidamente y se ha renovado el interés en la quinua como cultivo para América del Norte. A partir del 2010, La Universidad Estatal de Washington comenzó a investigar la quinua, llevando a cabo estudios agronómicos e iniciando un programa de fitomejoramiento. Recientemente se formó una sociedad entre la Universidad Estatal de Washington, la Universidad Brigham Young, la Universidad del Estado de Oregón, y la Universidad Estatal de Utah para la colaboración en el desarrollo de variedades de la quinua en el Oeste de los Estados Unidos.

## Desafíos y Oportunidades de Investigación.

### *Susceptibilidad al Calor.*

La mayor barrera a la quinua en América del Norte son las temperaturas excesivamente altas durante la temporada de cultivo. La quinua tiene una alta susceptibilidad al calor, la que puede causar esterilidad del polen e inactividad cuando las temperaturas exceden los 35°C (Johnson y Croissant 1985). Además, el llenado del grano se ve afectado por temperaturas altas, en particular en combinación con el largo fotoperiodo típico de las latitudes templadas (Bertero et al. 1999). Los fotoperiodos largos también afectan la viabilidad del polen (Bertero D 2013 comunicado personal, 16 Oct). Se ha hallado que las variedades oriundas del sur y centro de Chile tienen la mayor tolerancia al calor, y también se encontró que tenían los mejores rendimientos en las pruebas en el Estado de Washington y en Colorado (Johnson 1990; datos sin publicar). Todo esto limita el rango de germoplasma disponible para los agricultores de América del Norte. Dado que muchos rasgos deseables, tales como un mayor tamaño de semilla y la ausencia de saponinas, se encuentran en ecosistemas de quinua no chilenos, el fitomejoramiento será necesario para introgresar dichos rasgos deseables al genotipo chileno de mayor tolerancia al calor.

A pesar que la quinua chilena tiene un mayor nivel de tolerancia al calor, sigue siendo inadecuada para aquellas áreas que experimenten temperaturas que excedan los 35 °C. Además, el aumento proyectado de olas de calor debido al cambio climático mundial amenaza con reducir las áreas aptas para el cultivo de la quinua, lo que hace aún más importante introducir una mayor tolerancia al calor en la quinua (Meehl et al. 2007). Las variedades de quinua identificadas como altamente tolerantes al calor se están cruzando en el programa de fitomejoramiento de WSU, con el objetivo de generar más variedades tolerantes al calor. Si la variación genética para la tolerancia al calor dentro del germoplasma existente fuese insuficiente, una alternativa podría ser usar *Chenopodium* spp. nativa de América del Norte como fuente alternativa a la tolerancia al calor. En el programa de fitomejoramiento de la quinua

de WSU, se han realizado cruces entre la quinua y *C. berlandieri* con el objetivo de introducir mayor tolerancia al calor y al mismo tiempo hacer una selección en contra de los rasgos problemáticos provenientes de las plantas padres malezas, tales como el desgrane y la inactividad de la semilla.

Dado que aún se desconoce mucho acerca de los mecanismos de la tolerancia al calor y la susceptibilidad en la quinua, existen muchas oportunidades de investigación en el área. La esterilidad del polen, el achaparramiento y la reabsorción de los contenidos de la semilla han sido todos reportados como una respuesta perjudicial a las altas temperaturas (Johnson & Croissant 1985; Bonifacio 1995; Bertero et al. 1999). Un área clave a ser explorada será determinar los efectos relativos de la esterilidad del polen y las altas temperaturas en las diferentes etapas de crecimiento con relación a la reducción del rendimiento. Si una etapa de vida en particular resulta ser el factor limitante de rendimiento, entonces esa etapa puede ser el objetivo de mejora.

#### *Remoción de la Saponina.*

Otro gran desafío es la remoción de la saponina. Para que la quinua sea comercializable, la cobertura de saponina que se encuentra en muchas variedades de semilla debe removerse primero. Las saponinas se pueden remover ya sea por abrasión usando un desgranador o un pulidor, por lavado o por cepillado (Darwinkel y Stølen 1997; Johnson y Ward 1993). El costo de establecer esta infraestructura puede ser prohibitivo para algunos agricultores. Este fue un factor limitante para la producción de quinua comercial en Colorado (Johnson 1990). Además, el polvo de saponina que se crea durante su remoción de la semilla puede representar un problema de salud (Sweet 1994). El desarrollo de líneas libres de saponina por medio de la introgresión de un alelo libre de saponina (Ward 2001) ayudaría a la diseminación de la quinua a nuevos medioambientes. Sin embargo, las variedades libres de saponina podrían resultar ser más susceptibles a la depredación por aves.

#### *Enfermedades.*

Dada la gran variedad de medioambientes a lo largo de América del Norte, muchos de los desafíos que enfrenta la quinua son específicos

a los ambientes de cultivo. El mildiú lanoso de la quinua (*Peronospora variabilis*), el patógeno más peligroso de la quinua, causa pérdidas que pueden llegar al 99% en cultivos en América del Sur (Danielsen et al. 2001). La presencia de este patógeno ha sido reportada en plantaciones a la intemperie en Pennsylvania y en el Estado de Washington (Testen et al. 2012; datos sin publicar). El Mildiú puede plantear un problema significativo para los rendimientos de la quinua en localidades con veranos húmedos, tales como el Centro y el Este de los Estados Unidos y el Sur de Canadá. Sin embargo, no ha sido un problema importante para los agricultores en el Valle de San Luis (McCamant J 2013, comunicado personal, 19 Mayo), y probablemente tampoco lo será para las regiones ubicadas en las porciones occidentales del continente con condiciones secas durante la estación de cultivo.

Un reporte reciente proveniente de Pennsylvania informa que los patógenos *Passaloria dubia* (Riess) U. Braun y *Asochyta* sp. han infectado plantaciones de quinua (Testen et al. 2013a; Testen et al. 2013b). El impacto relativo de estos nuevos patógenos está aún por determinarse.

#### *Germinación Pre Cosecha.*

La germinación pre-cosecha es un problema potencial para aquellas áreas con lluvias en la parte tardía de la estación de cultivo, ya que es en este período que las semillas comienzan a madurar. Este fue un problema en las pruebas de evaluación de variedades en el 2010 y el 2013 que se llevaron a cabo en el este del Estado de Washington. Las lluvias tempranas a finales del verano produjeron la germinación pre-cosecha de muchas variedades (datos sin publicar). Se puede esperar que la germinación pre-cosecha sea un problema para locaciones en la costa Oeste de los Estados Unidos, donde el comienzo de las lluvias estacionales puede coincidir con la maduración de las semillas. Adicionalmente, aquellas locaciones con precipitaciones a lo largo de todo el año también podrían enfrentar el mismo problema. Dicho problema ha sido observado en Holanda en donde hay precipitaciones durante todo el año. El trabajo en el programa Holandés de fitomejoramiento de la quinua identificó la variabilidad en susceptibilidad a la germinación relativa a la fecha de la cosecha, y se hizo una selección exitosa para este factor

(Mastebroek y Limburg 1997). Dos variedades, la QQ065 y la 2WANT, han sido identificadas con una alta inactividad que les provee de tolerancia a la germinación pre-cosecha (Ceccato et al. 2011). Además, los esfuerzos realizados por el agricultor privado de quinua Frank Morton, en el Valle Willamette de Oregón, han llevado al desarrollo de variedades con mayor resistencia a la germinación. Esto indica que la germinación pre-cosecha de la quinua puede ser superada y que la resistencia podría desarrollarse por medio de la identificación y la mejora de la tolerancia existente en estas variedades de quinua. Alternativamente, la tolerancia se podría introgresar desde las fuentes identificadas en las accesiones QQ065 y 2WANT.

#### *Malezas e Insectos.*

La presión de la maleza y las plagas también son desafíos de envergadura para el cultivo de la quinua. Existe poca investigación al respecto en América del Norte respecto a estas problemáticas. Las especies relacionadas de *Chenopodium* spp. plantean grandes dificultades cuando son el principal problema de maleza, dado sus hábitos de crecimiento y apariencia similares a la quinua, especialmente cuando son jóvenes.

Los reportes de Colorado informan de la aparición de una amplia variedad de insectos en los campos de los agricultores al poco tiempo de la introducción de los cultivos (Cranshaw et al. 1990). Las experiencias en el Estado de Washington indican que *Lygus* spp. y *Hayhustria atriplicis* son las dos principales plagas que afectan a la quinua. Se requiere más investigación en esta área, en especial para la *H. atriplicis*. Esta plaga produce pequeñas partículas de melaza que son difíciles de remover de las semillas cosechadas y son una dificultad importante para el procesamiento post-cosecha (datos sin publicar).

Adicionalmente, dado el estatus de la quinua como un cultivo relativamente nuevo, es posible que atraiga plagas nuevas, en particular aquellas que depredan las especies de *Chenopodium* relacionadas. Esto se ha observado en Europa, con el ejemplo de *Cassida nebulosa* y *Scrobipalpa atriplicella* (Sigsgaard et al. 2008).

#### *Cruce Exogámico.*

El cruce entre la quinua y especies relacionadas

tales como *C. berlandieri* podría resultar ser un desafío cuando es importante mantener la pureza varietal. Los cruces entre estas especies pueden ser fértiles, y tales cruces se han observado en Colorado, Oregón y el Estado de Washington (Wilson & Manhart 1993; McCamant J 2013, comunicado personal, 19 May; Morton F 2013, comunicado personal, 28 Mayo). Los rasgos indeseables, tales como semillas negras en una variedad de semillas blancas, pueden ser un problema para los agricultores que buscan replantar su semilla. Sin embargo, dichos cruces también pueden brindar una oportunidad, dado que la especie de *Chenopodium* nativa puede contener rasgos que confieran una mayor adaptación ambiental, tales como mayor tolerancia al calor o resistencia a las enfermedades. Tales híbridos espontáneos han sido desarrollados en una variedad en si misma por John McCamant en White Mountain Farm en Colorado (McCamant J 2013, comunicado personal, 19 Mayo).

#### *Colaboración y Alcance.*

El alcance de los agricultores constituye un factor significativo que gobierna el éxito de la expansión de la quinua en América del Norte. A pesar de que muchos agricultores que desarrollan sus actividades en ambientes con condiciones de crecimiento distintas han expresado gran interés en la quinua, el cultivo exitoso es difícil debido a la falta de infraestructura y de semillas apropiadas disponibles a granel. A menudo la semilla que se vende como comida es plantada en vez de las especies chilenas mejor adaptadas, lo que resulta en un escaso o nulo rendimiento.

La producción y diseminación de directrices de crecimiento más detalladas y especificadas a nivel regional constituirá una gran ayuda para promover la expansión exitosa de la quinua. Las semillas de variedades apropiadamente adaptadas deberán estar disponibles a granel para los agricultores. En la actualidad, las variedades chilenas superiormente adaptadas solo están disponibles en pequeñas cantidades. Debiera darse alta prioridad en hacer que esta semilla este más fácilmente disponible, dado que la plantación de quinua importada como comida podría introducir enfermedades de la quinua transportadas por semillas, tales como el mildiú lanoso (*Peronospora variabilis*), que está presente como oósporos

en el pericarpio de la semilla (Danielsen et al. 2004). *Peronospora variabilis* es heterotática y tiene el potencial para la reproducción sexual de haber tipos para apareamiento compatibles (Danielsen 2001). La introducción accidental de nuevas cepas de mildiú podría resultar en el establecimiento de poblaciones de apareamiento en América del Norte si dichas poblaciones aún no están presentes. También existen riesgos debidos a la introducción de semillas asociadas a plagas tales como *Eurysaccaquinoae* (Bertero D., 2013, comunicado personal, 16 Oct).

Una vez que los cultivares adaptados alcancen mayor disponibilidad, los agricultores generarán información valiosa a medida que vayan aprendiendo a partir de los desafíos particulares y de las prácticas agronómicas que brindan los mejores resultados para su medioambiente particular. Una gran parte del conocimiento actual acerca de la quinua en América del Norte proviene de agricultores y de agricultores que trabajan en colaboración con investigadores. Dicha colaboración fue vital al establecimiento exitoso de la quinua en el continente y será clave para la futura expansión de los cultivos.

### Investigación e Historia.

#### *Historia Temprana.*

Existen recuentos esporádicos de pruebas y experimentos con la quinua antes que la investigación comenzara de forma sistemática en la década de los 1980 en Colorado. Reportes provenientes de Alaska indican que la planta fue investigada tan temprano como en el 1900. (Caldwell 2013). En 1948, se midió la respuesta de la quinua a deficiencias en varios nutrientes en la Universidad de Arizona (Larrabure 1948). Posteriormente, Torres (1955) investigó la tolerancia de la quinua a la salinidad y la sodicidad. Las referencias existentes de la década de 1950 sugieren que la quinua se había cultivado bajo condiciones de campo con poco éxito (Eiselen 1956). En 1968, se escribió una tesis que examinaba la respuesta en crecimiento de la quinua a la temperatura y la tensión de oxígeno. (Aguilar 1968). Alrededor de esa época, se realizaron trabajos relacionados a la relación de la quinua y el huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*) basados en la morfología y su habilidad

para formar híbridos (Nelson 1968; Heiser Jr y Nelson 1974).

Reportes de fines de 1970 e inicios de 1980 sugieren plantaciones de campo de quinua exitosas. Ya en 1978, se encontró una variedad cosechada por Gabriel Howearth que dio semilla en el sur de Oregón. Ya para 1980, una compañía de semillas en el Oeste del Estado de Washington cultivaba y ofrecía diferentes variedades de quinua (Wood 1989).

#### *Universidad Estatal de Colorado.*

El trabajo más grande y significativo sobre la agronomía de la quinua comenzó en Colorado a comienzos de los años ochenta. Se formó una sociedad entre la Universidad Estatal de Colorado y la organización sin fines de lucro Sierra Blanca Associates (Johnson 1990). Stephen Gorad y Dave Cusack, de Sierra Blanca Associates llevaron a cabo una recolección de germoplasma y una prueba de variedad y se cultivó quinua exitosamente en 1982 y 1983 (McCamant J 2013, comunicado personal, 19 Mayo). Se llevaron a cabo pruebas de variedad en varias locaciones en 1984, que identificaron las variedades del sur de Bolivia y las variedades chilenas como las mejor adaptadas. En dicha ocasión se realizaron experimentos acerca de los requerimientos de nitrógeno, irrigación y la densidad de plantas. Los detalles acerca de dichos experimentos no son muy informativos, aunque hay recomendaciones disponibles basadas en los resultados (Johnson 1990). Una variedad, Colorado 407, fue lanzada en esa ocasión. Representaba una selección de una variedad Chilena recolectada en Linares en el Centro de Chile (McCamant J 2013, comunicado personal, 19 Mayo).

La producción comercial de la quinua se inició en 1987, después de recibir un equipo para la remoción de saponina enviado por la Pillsbury Company (Johnson 1990). La remoción de saponinas amargas permitió la comercialización a gran escala de la quinua. En 1988, se formó una Asociación Norteamericana de Productores de Quinua, de corta duración. Sin embargo, tras el auge en la producción de quinua durante finales de la década de 1980 e inicios de la década de 1990, la producción de la quinua decayó debido a la falta de rentabilidad y desde entonces ha permanecido relativamente limitada (McCamant J



2013, comunicado personal, 19 Mayo).

Un estudio que investigaba los requerimientos de irrigación de la quinua en el Valle de San Luis fue llevado a cabo en 1987 y 1988 (Flynn 1990). Tamulonis (1989) llevó a cabo una producción de callos de quinua in vitro, con el objetivo de desarrollar líneas androestériles para la producción de híbridas. La investigadora Dra. Sarah Ward investigó el uso de la esterilidad citoplasmática masculina en la quinua con el objeto de generar una híbrida de quinua libre de saponina con rendimientos mejorados. Se identificaron tres fuentes de esterilidad citoplasmática masculina, en las variedades Amachuma, Apelawa, y PI 510536. La utilidad de la Amachuma en la producción de híbridas fue limitada debido a la falta de estigmas protuberantes (Ward 1991). La Apelawa carecía de fuentes inmediatamente disponibles de genes de restauración de la fertilidad, mientras que se encontró que la accesión PI 510536 tenía estigmas extensibles combinados con genes de restauración de la fertilización inmediatamente disponibles (Ward 1994).

En 1997, tuvo lugar una controversia sobre una patente registrada para una fuente de esterilidad citoplasmática masculina encontrada en el cultivar de Apelawa. La patente cubría aquellos híbridos que usaban CMS de Apelawa y a cualquier híbrido creado derivado de esta fuente de CMS. La patente fue formalmente protestada por la Rural Advancement Foundation International (RAFI) y la Asociación Nacional de Productores de Quinua (ANAPQUI). La disputa se cerró cuando la patente caducó en 1998.

Se investigaron métodos alternativos de remoción de saponina (Sweet 1994). En 2002, los niveles de heterosis entre las variedades fueron determinados usando líneas androestériles (Watson 2002). La investigación prosiguió en la Universidad Estatal de Colorado hasta el 2003. Durante el curso del programa, hubo colaboraciones con programas de Bolivia y Ecuador, y hubo colaboraciones e intercambio de germoplasma con diversos programas Europeos de quinua. Se entregaron semillas y asesoramiento a programas de quinua en Nepal, Mongolia y China (Ward S 2013, comunicado personal, 31 Mayo).

*Universidad de A&M Texas.*

El Dr. Hugh Wilson dirigió extensos estudios acerca de la relación entre los ecotipos de quinua y entre las especies del género *Chenopodium*. Wilson estudió la quinua en Argentina y en el centro y sur de Chile, y recolectó importantes plasmas germinales de dichas áreas. Se determinó por medio del análisis de isozimas que la quinua Chilena de las tierras bajas es conespecífica con los tipos Andinos (Wilson 1978). Posteriormente, por medio del uso de cruces controlados, se determinó que la quinua y el quenopodio domesticado mexicano (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*) son especies separadas. Particularmente digno de resaltar fue la habilidad de la quinua de formar F1's parcialmente auto-fertilizantes con *C. berlandieri* var. *zschackei*. (Wilson & Heiser Jr 1979). En un experimento posterior que involucraba cruces interespecíficos dentro del género *Chenopodium*, se halló que la quinua formaba híbridos con *C. berlandieri* var. *nuttalliae*, *C. berlandieri* var. *berlandieri*, y *C. bushianum* (Wilson 1980). Los trabajos posteriores se enfocaron en analizar la diversidad dentro de *Chenopodium* tetraploide y la quinua Sudamericana por medio de isozimas y el análisis morfológico. Se encontró que las quinoas tipo maleza eran conespecíficas con la quinua cultivada (Wilson 1988a). Entre las poblaciones cultivadas, la quinua del sur del Altiplano contenía el mayor nivel de diversidad. Se determinó también que las poblaciones Chilenas andinas y costeras de quinua eran grupos distintos (Wilson 1988b; Wilson 1988c).

*Universidad Brigham Young.*

La BYU ha emprendido una extensa investigación acerca de la quinua, primariamente en el área de la genética de la quinua. Los investigadores Dr. Jeff Maughan y Dr. Eric Jellen actualmente dirigen el trabajo en dicha área. Una publicación reciente sintetiza gran parte de su trabajo sobre el género *Chenopodium*, su taxonomía, y los recursos genéticos potenciales disponibles para mejorar la quinua. (Jellen et al. 2011). Adicionalmente, un resumen de las herramientas biotecnológicas disponibles, muchas de las cuales fueron desarrolladas en la BYU, y su potencial contribución a la mejora de la quinua fue escrito por Jellen et al. (2013).

Las investigaciones más tempranas publicadas fueron sobre la caracterización mineral y proteica

de 162 accesiones de quinua (Burgener 1992) y sobre la idoneidad de la quinua como alimento para pollos de engorde (Improta 1993). El potencial para cruces inter-específicos e inter-genéricos con *Chenopodium berlandieri*, *C. berlandieri* subsp. *nuttalliae*, y *Atriplex* spp. fue investigado por Alejandro Bonifacio. En uno de los más tempranos despliegues de marcadores genéticos en la quinua, se desarrollaron marcadores RAPD y se usaron para distinguir los híbridos exitosos (Bonifacio 1995; Bonifacio 2004).

Los investigadores de la BYU han desarrollado un gran número de marcadores moleculares. Maughan et al. (2004) desarrollaron marcadores AFLP, lo que fue seguido por el desarrollo de marcadores micro satelitales (Mason et al. 2005; Jarvis et al. 2008). Tanto los marcadores AFLP como los marcadores micro satelitales fueron desplegados para caracterizar la diversidad genética de las accesiones de quinua en la base de datos de germoplasma USDA y en el criadero internacional CIP-FAO (Pratt 2003; Christensen et al. 2007). Los marcadores SNP fueron desarrollados desde un biblioteca EST desarrollada por Coles et al. (2005). Más recientemente, Maughan et al. (2012) usaron tecnología de genotipificación para generar 14.178 SNPs putativas y 511 ensayos de SNP.

Se han creado varias bibliotecas genéticas. Una biblioteca EST que utiliza tejido inmaduro de semillas y flores fue generada por Coles et al. (2005). Posteriormente, Reynolds (2009) construyó una biblioteca EST a partir de tejidos de semillas de una variedad de quinua productora de saponina amarga. Se desarrolló un micro-ensayo personalizado que fue usado para medir las diferencias entre las variedades dulces y amargas de quinua. Los genes candidatas de ser potencialmente responsables de la biosíntesis de la saponina en la quinua también fueron identificados. Stevens et al. (2006) construyeron una biblioteca BAC usando enzimas de restricción *EcoRI* y *BamHI*. Dicha biblioteca fue sondeada para los genes de almacenamiento de proteína de la semilla. Maughan et al. (2009) usaron dicha biblioteca para realizar una extensa caracterización de los homólogos en la quinua.

La expresión cuantitativa de genes particulares de interés ha sido investigada. La codificación

genética para la proteína almacenadora de globulina 11S en la semilla, que se cree contribuye al balance aminoácido de la proteína de la quinua, fue investigada por Balzotti et al. (2008) usando RT-PCR. La acumulación de la globulina S11 en la proteína de la semilla fue medida usando SDS-PAGE. Morales (2011) cuantificó la expresión de los genes SOS1, NHX1, y TIP2, que se cree median potencialmente la tolerancia a la salinidad, usando RT-PCR en el tejido de la raíz y la hoja de distintos tipos de ecotipos de quinua. Ricks (2005) intentó encontrar un marcador para el ligado al lugar de la saponina amarga y descubrió un marcador a 9.4 cM de distancia de la misma. Sin embargo, no se han identificado marcadores completamente ligados (Reynolds 2009).

Las investigaciones también se han enfocado en los orígenes evolutivos de la quinua y su parentesco con otras especies dentro de la *Chenopodium*. Maughan et al. (2006) determinaron la variación de secuencia de los espaciadores inter-genéticos en la región del nucléolo y de espaciadores 5s rRNA. Se utilizó hibridación por fluorescencia in-situ para cuantificar el número de lugares de los 45s y 5s rRNA en la quinua, *Chenopodium berlandieri* var. *zschackei*, y *C. berlandieri* subsp. *nuttalliae*. Los resultados indicaron que la quinua y *C. berlandieri* comparten un ancestro diploide común. Sederburg (2008) utilizó FISH para examinar los lugares de los genes 5s y 45s RNA gene en la *Chenopodium* spp del Nuevo Mundo. No se hallaron ancestros definitivos para la quinua, pero algunas potenciales especies ancestros fueron determinadas. Posteriormente, Kolano et al. (2011) usaron FISH para el clon 18-24J ADN en la *C. quinua* y un rango de otras *Chenopodium* spp. Los resultados indicaron que *C. quinua*, *C. berlandieri*, y *C. album* hexaploide comparten un ancestro común.

El mildiú lanoso, el mayor patógeno de la quinua, ha atraído las investigaciones de los científicos de la BYU. Swenson (2006) examinó la diversidad genética de las hebras Bolivianas del mildiú (*Peronospora variabilis*) recolectadas en el 2005 y el 2006 a lo largo de Bolivia. Utilizando marcadores AFLP, se encontró un alto grado de diversidad genética dentro de la especie. Se halló que la resistencia de la quinua al patógeno era en general predominantemente hereditaria. Kitz

(2008) desarrolló un método de inoculación para el mildiú lanoso y caracterizó su infección usando microscopía electrónica de barrido.

*La Universidad Estatal de Washington.*

El trabajo con la quinua en La Universidad Estatal de Washington comenzó en 2010, con pruebas observacionales a lo largo del Estado de Washington. Cuarenta y cuatro accesiones de quinua del Sistema Nacional de Germoplasma de Plantas fueron probadas en tres locaciones que representaban condiciones climáticas que iban desde marítimas hasta semi-áridas. Las variedades originarias de las tierras bajas Chilenas estuvieron entre las variedades de mejor rendimiento. En la Granja Orgánica de la Evergreen State College en Olympia, Washington, una localidad que se caracteriza por un clima oceánico muy lluvioso, y la germinación pre-cosecha debido a las lluvias tempranas era problemática. El chinche *Lygus* y los áfidos fueron identificados como plagas comunes (datos sin publicar).

El autor dirigió un experimento en invernadero que examinaba la tolerancia a la salinidad entre cuatro cultivares de quinua de origen Chileno. La tolerancia a la salinidad de la quinua es de gran interés para áreas que enfrentan problemas de salinización del suelo. El conocimiento acerca de la viabilidad en tolerancia a la salinidad y los mecanismos detrás de la misma han sido intensamente explorados durante los últimos años y ese tema se analizó extensamente en otro capítulo de este libro. Dado que muchas regiones de los Estados Unidos con problemas de salinidad de suelo experimentan altas temperaturas en el verano, la investigación respecto a la tolerancia a la salinidad de las variedades Chilenas más tolerantes al calor es muy importante. La tolerancia a la salinidad difería significativamente entre las variedades originadas en diferentes latitudes en Chile, lo que refleja en la investigación un gradiente de latitud en la tolerancia a la salinidad (Ruiz-Carrasco et al. 2011). Adicionalmente, la tolerancia a la salinidad difería cuando se aplicaba cloruro de sodio y sulfato de sodio, con este último ejerciendo un efecto menos perjudicial a las variedades (Peterson 2012). Dado que tanto las sales de clorhidrato y de sulfato son sales problemáticas a lo largos de grandes áreas en América del Norte, cualquier diferencia en tolerancia entre las dos sales es de

gran importancia.

En el 2011, el autor llevó a cabo un experimento de campo que investigaba la respuesta en rendimiento de 16 variedades de la quinua a la fertilización con nitrógeno. Las altas temperaturas estivales actuaron como factor de confusión y no se obtuvo dato alguno acerca de la respuesta al nitrógeno. Sin embargo, se obtuvo información importante acerca de la tolerancia al calor.

Se inició una colaboración con la BYU y al año siguiente, aproximadamente 700 líneas se desarrollaron a medida que se llevaba a cabo un mapeo de poblaciones que fueron cultivados en la Universidad Estatal de Washington para obtener su fenotipo detallado. Los rasgos examinados incluían la exitosa formación de semillas, altura, fecha de floración, color de la planta y la resistencia al mildiú lanoso (Walters, sin publicar).

*Investigaciones Adicionales.*

Además del trabajo de la CSU, la BYU, y la WSU, la quinua ha sido sometida a pruebas en otras locaciones en América del Norte. Los intentos más tempranos fueron en Alaska hace más de un siglo (Caldwell 2013). En 1985 y 1986, las variedades de quinua de Colorado fueron cultivadas como parte de las pruebas en la Universidad de Idaho. Sin embargo, el cultivo fue un fracaso debido a la maduración tardía de las variedades cultivadas (Kephart et al. 1990). Las pruebas de la quinua en Minnesota a fines de los 1980 e inicios de los 1990 también terminaron con cultivos fallidos, y se señaló que las altas temperaturas fueron la causa (Robinson 1986; Oelke et al. 1992). Pruebas conducidas en Dakota del Norte también tuvieron malos resultados, y los insectos fueron citados como la mayor causa de preocupación (Berti & Schneiter 1993).

Se observaron resultados mixtos en Virginia. Las variedades británicas de la quinua dieron semilla exitosamente en 1992, pero no lo hicieron al año siguiente debido a la presencia de temperaturas más altas (Bhardwaj et al. 1996).

Más recientemente se hicieron pruebas con la quinua en el Noreste Americano. En contraste con las fallas en el Medio Oeste y el sur de América del Norte, la quinua rindió bien al estar sometida a condiciones difíciles en el Oeste de Maine en

el 2002. Ocho variedades de quinua originarias de Chile, Bolivia y Colorado fueron cultivadas (Conant 2002). En contraste, una prueba realizada en el Oeste de Nueva York en el 2012 con cuatro variedades de quinua de tierras bajas mostraron bajas tasas de formación de semillas bajo temperaturas anormalmente altas (Dyck 2012).

Una serie de estudios no-agronómicos acerca de la quinua ha sido llevada a cabo en varias instituciones. Se han realizado estudios sobre los patógenos de la quinua en la Universidad Estatal de Pennsylvania (Testen et al. 2012; Testen et al. 2013a; Testen et al. 2013b). Se han realizado trabajos arqueológicos acerca de la domesticación de la quinua. Se han excavado semillas de *Chenopodium* en Chiripa, Bolivia, donde hallaron tanto semillas de la quinua como de sus formas de maleza, lo que sugiere que ambas eran cosechadas juntas. Sin embargo, hacia el 800 A.C., casi todas las semillas de *Chenopodium* eran de quinua, lo que sugiere que la selección fue contraria a las formas de maleza (Bruno & Whitehead 2003). Más recientemente, una nueva morfología de *Chenopodium* domesticada se descubrió en excavaciones en el Altiplano Boliviano (Langlie et al. 2011).

Los investigadores en la Universidad Estatal de Pennsylvania analizaron el ADN de los cloroplastos de *Chenopodium* domesticadas Mexicanas (*C. berlandieri* subsp. *nuttalliae*), una especie Norte Americana silvestre de *Chenopodium* tetraploide, y una *Chenopodium* extinta domesticada del Este de América del Norte, *C. berlandieri* subsp. *jonesianum*. Sus resultados sugieren la domesticación independiente de los quenopodios Mexicanos y los quenopodios del Este de América del Norte (Kistler & Shapiro 2011).

Actualmente, en la Universidad del Oeste Madison, se está trabajando en la filogenética de la *Chenopodium*, al igual que la comparación de las secuencias de la *C. berlandieri* subsp. *jonesianum* y la *C. berlandieri* subsp. *nuttalliae* (Walsh, comunicado personal, 25 Oct).

#### **Fitomejoramiento de la Quinua.**

El trabajo en fitomejoramiento de la quinua en América del Norte ha sido limitado. La Universidad Estatal de Colorado hizo una selección sobre una raza criolla Chilena y lanzaron el cultivar Colorado

407 en 1987 (Johnson 1990). El trabajo de fitomejoramiento de líneas androestériles continuó en la Universidad y se examinó la herencia de las saponinas y la androesterilidad (Ward 1991; Ward 1994). Sin embargo, desde el lanzamiento de la variedad Colorado 407, no hay nuevas variedades que hayan sido lanzadas por una universidad pública. Los miembros de Sierra Blanca Associates recolectaron el germoplasma original utilizado en los esfuerzos de fitomejoramiento en Colorado. Gran parte de este germoplasma sigue siendo cultivado y seleccionado en White Mountain Farm bajo el cuidado de Paul New y el pionero de la quinua John McCamant (McCamant J 2013, comunicado personal, 19 De Mayo).

Una gama de variedades de quinua han sido mantenidas y sometidas a fitomejoramiento por parte de compañías privadas de semillas. Lo más significativo es que varias variedades han sido sometidas a esfuerzos de fitomejoramiento por Frank Morton de Wild Garden Seed, todas seleccionadas para las condiciones de crecimiento del valle de Willamette en Oregón. Los principales objetivos del fitomejoramiento han sido mejorar la tolerancia al calor y la resistencia a *Lygus* sp. El germoplasma original usado en este programa rastrea sus orígenes al material del programa de fitomejoramiento de Colorado (Morton F 2013, comunicado personal, 28 De Mayo).

Adicionalmente, el pionero de la quinua y agricultor, John McCamant, ha seguido su trabajo de selección y desarrollo en su granja. Aquí, la tolerancia al calor ha sido el principal objetivo del fitomejoramiento. Se desarrollaron híbridos espontáneos entre la quinua y un especie de *Chenopodium* silvestre en un cultivar de quinua de semillas negras (McCamant J 2013, comunicado personal, 19 De Mayo).

La Northern Quinoa Corporation en Canadá ha realizado pruebas de variedad y fitomejoramiento, y ha desarrollado variedades mejor adaptadas a las condiciones Canadienses. Actualmente, la variedad "Norquin 94-815" se encuentra en proceso de ser registrada (Dutchshen M 2013, comunicado personal, 28 De Mayo).

Actualmente hay trabajos realizándose en la Universidad Estatal de Washington para desarrollar variedades con rasgos críticamente



importantes tales como una tolerancia al calor mejorada, ausencia de saponinas, y tolerancia a la germinación pre-cosecha. El objetivo de este programa es desarrollar cultivares mejor adaptados para el oeste Pacífico y zonas montañosas, que al mismo tiempo den cuenta de los desafíos comunes para el cultivo de quinua planteados por el clima templado de América del Norte. Además, se están llevando a cabo cruces experimentales entre la quinua y especies relacionadas de *Chenopodium* spp.

### **Germoplasma.**

Una diversa gama de germoplasma de quinua se ha probado y cultivado para la investigación y fines de producción en América del Norte. Dada la historia reciente de la quinua en América del Norte, gran parte de este germoplasma se puede rastrear al lugar de recolección y al recolector.

En la actualidad, El Centro Regional del Centro Norte de Introducción de Plantas en Ames, Iowa, parte del Sistema Nacional de Germoplasma Vegetal, tiene la mayor colección de quinua en los EEUU con 164 accesiones de quinua públicamente disponible y una amplia gama de accesiones de *Chenopodium* spp. Estas accesiones representan una amplia gama de germoplasma de quinua de orígenes geográficos diversos. David Brenner, el curador de la colección de *Chenopodium*, ha jugado un papel crucial en proveer gran parte del germoplasma de quinua utilizado en los programas en los Estados Unidos e internacionalmente.

Existen varias sub-colecciones grandes dentro de la colección de quinua. La primera de estas sub-colecciones para donación es la sub-colección que donó Dr. Hugh Wilson. Estas accesiones fueron recolectadas en diversas locaciones en Chile y Argentina (Wilson 1978), e incluye accesiones con rasgos importantes tales como tolerancia al calor y resistencia a la germinación pre-cosecha. La segunda, y la mayor sub-colección, fue donada por uno de los primeros investigadores de la quinua, Emigdio Ballón del Centro Talavaya en el norte de Nueva México. Esta sub-colección representa aproximadamente un cuarto de la colección GRIN de quinua y fue desarrollada como parte de una evaluación de tolerancia al

calor. Altas temperaturas esterilizaron el polen de los tipos andinos llevando a su posterior polinización por tipos Chilenos (Bertero D 2013 comunicado personal, 16 Oct). Christensen et al. (2007) confirman esto, en donde las accesiones de Ballón se agruparon en accesiones de tierras bajas chilenas o intermedios genéticos entre accesiones de tierras bajas y de tierras altas.

Más recientemente, en 1992, la Dra. Sarah Ward contribuyó con una sub-colección de accesiones Bolivianas. En 1994 Marisol Berti Díaz de la Universidad de Concepción donó una sub-colección más pequeña de variedades chilenas de tierras bajas.

Diversas variedades originalmente recolectadas en América del Sur siguen siendo cultivadas comercialmente tanto por agricultores privados como también por empresas de semillas. Además de estas fuentes comercialmente disponibles de germoplasma, otras instancias de recolección de variedades de quinua han sido reportadas. John Marcille, un agricultor que cultivó quinua de forma comercial en el Norte del Estado de Washington por varios años, cultivó semillas recolectadas independientemente por un asociado en América del Sur (Marcille J 2013 comunicado personal, 19 De Mayo).

La instancia más temprana reportada de una variedad de quinua que diera semilla exitosamente en América del Norte es de Gabriel Howearth, quien cultivó exitosamente quinua en el sur de Oregón en 1978 (Wood 1989). La contribución de estas introducciones al acervo actual de germoplasma Norteamericano aún es desconocida.

### **Rango Actual de Cultivo.**

El cultivo de quinua en América del Norte se limita a dos áreas como se muestra en la figura 1. La primera área es el Valle de San Luis, un valle en altitud en el Sur de Colorado en donde la quinua fue introducida por primera vez a escala comercial. Aquí, el cultivo de la quinua está liderado por White Mountain Farm, que cultiva 20 a 40 hectáreas. En años recientes, el área cultivada comenzó a expandirse (McCamant J 2013, comunicado personal, 19 de Mayo).



**Figura 1:** Zonas de cultivo de quinua en Estados Unidos

El cultivo a mayor escala de quinua en América del Norte en la actualidad es la que tiene la Northern Quinoa Corporation en las Praderas Canadienses, en donde, a partir del 2005, se cultivó la quinua en 650 hectáreas (Alberta Agriculture 2005). Los cultivos están ubicados aproximadamente 100km al norte de la frontera de Alberta con los EEUU, en Saskatchewan, y en Manitoba (Dutcheshen M 2013,

comunicado personal, 28 de Mayo).

#### **Posibles Áreas de Expansión.**

A pesar de haber sido sometida a pruebas en muchas regiones en América del Norte, la quinua ha demostrado tener un éxito limitado fuera de las locaciones en altura de las Rocallosas y de las Praderas Canadienses. El cultivo de la quinua aún

podría expandirse dentro de estas dos regiones, dada la limitada área de cultivo de la quinua en la actualidad.

Varias regiones adicionales muestran gran potencial como áreas para el cultivo de la quinua. La primera de estas son las ubicaciones en altura fuera de las Rocallosas. La quinua se cultivó con éxito en las Tierras Altas de Okanogan en el norte del Estado de Washington durante varios años (Marcille J 2013 comunicado personal, 19 de Mayo). Las locaciones en altura en los pies de la Sierra Nevada en California y en las Cascadas en el área Noroeste del Pacífico también podrían ser microclimas apropiados. La siembra invernal en el Valle Central y en otras locaciones templadas en California podría permitir un escape temporal de las altas temperaturas estivales.

Las próximas áreas más importantes para la expansión son las tierras bajas costeras del Noroeste de la costa Pacífica. Sin embargo, la germinación pre-cosecha es un desafío debido a la maduración relativamente tardía de la quinua. Adicionalmente, en algunas partes del Valle de Willamette en Oregón y del sudoeste de Washington, las altas temperaturas estivales podrían plantear un problema.

La quinua se podría expandir en áreas en el norte de las Great Plains y del Medio Oeste si se puede dar solución a los problemas de tolerancia al calor, presión de insectos y el mildiú lanoso. Una de las pocas regiones fuera de la parte oeste de los Estados Unidos que fue reportada como un área donde la quinua fue cultivada con éxito fue el Oeste de Maine (Conant 2002). El noreste de los Estados Unidos, la costa Atlántica de Canadá, el sureste de Ontario, y el sur de Quebec podrían ser regiones prometedoras para el desarrollo futuro del cultivo.

#### **Variables Económicas y Mercados Actuales.**

Actualmente faltan estudios acerca del Mercado de la quinua en América del Norte como en todo el mundo; sin embargo, un estudio de las dinámicas de mercado actuales de la quinua se está llevando a cabo en WSU. En la actualidad, la dinámica de Mercado dominante es la importación importante desde América del Sur, con una pequeña contribución de la producción doméstica. A partir del 2005, el consumo estimado de quinua en EEUU

y Canadá fue de 3000 toneladas métricas (Alberta Agriculture 2005).

En años recientes, la demanda por alimentos cultivados localmente ha aumentado, y este fenómeno ha incluido a la quinua. La preocupación por las consecuencias socioeconómicas de la creciente demanda por quinua ha crecido recientemente en la conciencia del público (Romero & Shahriari 2011), aumentado aún más esta creciente demanda. La quinua producida domésticamente sigue siendo un gran nicho no explotado en el mercado de América del Norte, y tanto los agricultores como los distribuidores han expresado un gran interés con satisfacer esta demanda insatisfecha.

Tanto en el Valle de San Luis como en las Praderas Canadienses, se ha reportado que la quinua tiene mayor rentabilidad en los años recientes (McCamant J 2013, comunicado personal, 19 Mayo; Dutcheson J 2013, comunicado personal, 17 Mayo).

Existen pocos datos acerca de los costos y retornos relativos para los agricultores de Colorado en los años iniciales de cultivo. Los pocos datos que existen señalan que costos de producción fueron cada vez menores a medida que la infraestructura mejoró y se refinaron las prácticas (Johnson 1990).

El análisis económico más extenso fue aquel conducido por Alberta Agriculture and Rural Development. Enfocándose en la producción actual de quinua Canadiense, se examinó la viabilidad de la quinua. La quinua tenía más costo eficiencia que el trigo, las habas y la canola. Adicionalmente, la producción de quinua tenía más costo eficiencia en Canadá que en Estados Unidos, no obstante la producción Sudamericana de quinua tenía mayor costo eficiencia. Al momento de realizarse el estudio, las importaciones de quinua eran más baratas que la producción doméstica. Sin embargo, se identificó la producción doméstica como rentable. Se descubrió que un obstáculo mayúsculo era el alto riesgo con retornos variables y se identificó que era necesario mejorar las prácticas agronómicas (Alberta Agriculture 2005).

#### **Conclusión.**

A pesar de los desafíos iniciales para establecer la producción de quinua en América del Norte, la quinua sigue creciendo a lo largo de un

área considerable tres décadas después de su introducción como cultivo comercial. Aunque existen obstáculos en términos de los desafíos productivos y medioambientales, hay rutas identificables para superar dichos problemas. Un aumento en la investigación de la agronomía de la quinua podría disparar la producción en medioambientes en donde la quinua está actualmente más adaptada. Adicionalmente, el fitomejoramiento para desarrollar nuevas variedades podría generar mayores rendimientos, y la introducción y fortalecimiento de rasgos valiosos, tales como la tolerancia al calor, podría ayudar a la expansión de la quinua a nuevas áreas.

## Referencias

- Aguilar T (1968). Growth Responses of *Chenopodium Quinoa* Willd. To Changes in Temperature and Oxygen Tension. Thesis. Chicago, Illinois: University of Illinois.
- Alberta - Agriculture and Rural Development (2005). Quinoa ...: the next cinderella crop for Alberta?. Edmonton: Alberta - Agriculture and Rural Development.
- Anónimo (2012). Research History and Current Status. Disponible en HTTP: <<http://genetics.byu.edu/Research/Quinoa/ResearchHistoryandCurrentStatus.aspx>> (Accedido mayo 17, 2013).
- Balzotti MRB et al. (2008). Expression and evolutionary relationships of the *Chenopodium quinoa* 11S seed storage protein gene. *International journal of plant sciences*, 169: 2, 281–291.
- Bertero H.D., RW King & AJ Hall (1999). Photoperiod-sensitive development phases in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field crops research* 60: 3, 231–243.
- Berti MT & AA Scheniter (1993). Preliminary Agronomic Evaluation of New Crops for North Dakota. En Janick J & JE Simon (eds.). *New crops*, 105–109. Wiley, Nueva York. Disponible en HTTP: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1993/v2-106.html>> (Accedido diciembre 10, 2012).
- Bhardwaj HL et al. (1996). Alternative Crops Research in Virginia. In Janick J (ed). *Progress in new crops*, 87–96. ASHS Press, Alexandria, Virginia.
- Bonifacio A (1995). Interspecific and Integeneric Hybridization in *Chenopod* Species. Thesis. Provo, Utah: Brigham Young University.
- Bonifacio A (2004). Genetic Variation in Cultivated and Wild *Chenopodium* Species for Quinoa Breeding. Dissertation. Provo, Utah: Brigham Young University.
- Bruno MC & WT Whitehead (2003). *Chenopodium* Cultivation and Formative Period Agriculture at Chiripa, Bolivia. *Latin American Antiquity*, 14: 3, 339–355.
- Burgener KW (1992). Mineral, protein and amino acid analysis of quinoa accession. Thesis. Provo, Utah: Brigham Young University.
- Caldwell, S (2013). “Superfood” quinoa finds Interior Alaska farming fanbase | Alaska Dispatch. *Alaska Dispatch*. Disponible en HTTP: <<http://www.alaskadispatch.com/article/20130422/superfood-quinoa-finds-interior-alaska-farming-fanbase>> (Accedido junio 4, 2013).
- Ceccato DV, HD Bertero & D Batlla (2011). Environmental control of dormancy in quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds: two potential genetic resources for pre-harvest sprouting tolerance. *Seed Science Research*, 21: 2, 133.
- Christensen SA et al. (2007). Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers. *Plant Genetic Resources*, 5: 2, 82.
- Coles ND et al. (2005). Development and use of an expressed sequenced tag library in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for the discovery of single nucleotide polymorphisms. *Plant Science*, 168: 2, 439–447.
- Conant N (2002). Quinoa Introduction in the River Valley Farmer/Grower Grant Final Report. SARE. Disponible en HTTP: <<http://mysare.sare.org/mySARE/assocfiles/877331fne02-406%20final.PDF>> (Accedido mayo 20, 2013).
- Cranshaw, WS, BC Kondratieff, & T Qian (1990). Insects Associated with Quinoa, *Chenopodium quinoa*, in Colorado. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 63: 1, 195–199.
- Danielsen S (2001). Heterothallism in *Peronospora farinosa* f.sp. *chenopodii*, the causal agent of downy mildew in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Journal of*



*Basic Microbiology* 41: 5, 305-308.

Danielsen S, SE Jacobsen, J Echegaray & T Ames (2001). Impact of downy mildew on the yield of quinoa. *Scientist and farmer: partners in research for the 21<sup>st</sup> century. IPC Program Report*, 2000: 397-401

Danielsen S et al. (2004). Seed transmission of downy mildew (*Peronospora farinosa* f.sp. *Chenopodii*) in quinoa and effect of relative humidity on seedling infection. *Seed Science and Technology* 32: 91-98.

Darwinkel A & O Stølen (1997). Understanding the Quinoa crop. Comision Europea, Bruselas.

Dyck E (2012). Quinoa trial for Northeast upland farms. SARE. Disponible en HTTP: <<http://mysare.sare.org/mySARE/ProjectReport.aspx?do=viewRept&pn=FNE12-760&y=2012&t=0>> (Accedido junio 10, 2013).

Eiselen E (1956). Quinoa, A Potentially Important Food Crop of the Andes. *Journal of Geography* 55: 7, 330-333.

Flynn RP (1990). Growth characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and yield response to increasing soil water deficit. Tesis. Fort Collins, Colorado: Colorado State University.

Heiser Jr CB & DC Nelson (1974). On the origin of the cultivated chenopods (*Chenopodium*). *Genetics* 78: 1, 503-505.

Improta F (1993). Raw and processed quinoa as feed for broilers. Tesis. Provo, Utah: Brigham Young University.

Jarvis DE et al. (2008). Simple sequence repeat marker development and genetic mapping in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of genetics* 87: 1, 39-51.

Jellen EN et al. (2011). *Chenopodium*. In C. Kole (ed). *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*, 35-61. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Jellen EN et al. (2013). Prospects for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Improvement Through Biotechnology. In Jain SM & S Dutta Gupta (eds). *Biotechnology of Neglected and Underutilized Crops*, 173-201. Dordrecht; Nueva York: Springer.

Johnson DL (1990). New Grains and Pseudograins. En Janick J & JE Simon (eds). *Advances in new crops*, 122-127. Timber Press, Portland, Oregon. Disponible en HTTP: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1990/v1-122.html>> (Accedido diciembre 10, 2012).

Johnson DL & RL Croissant (1985). Quinoa Production in Colorado. Service-In-Action No. 112. Fort Collins, Colorado: Colorado State University Cooperative Extension.

Johnson DL & S Ward (1993). Quinoa. In Janick J & JE Simon (eds). *New crops*, 219-221. Wiley, New York. Available HTTP: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1993/v2-222.html>> (Accessed December 10, 2012).

Kephart KD, GA Murray & DL Auld (1990). Alternate Crops for Dryland Production Systems in Northern Idaho. In Janick J & JE Simon (eds). *Advances in new crops*, 62-67. Timber Press, Portland, Oregon.

Kistler L & B Shapiro (2011). Ancient DNA confirms a local origin of domesticated chenopod in eastern North America. *Journal of Archaeological Science* 38: 12, 3549-3554.

Kitz L (2008). Evaluation of Downy Mildew (*Peronospora farinosa* f. sp. *chenopodii*) Resistance Among Quinoa Genotypes and Investigation of *P. farinosa* Growth Using Scanning Electron Microscopy. Thesis. Provo, Utah: Brigham Young University.

Kolano B et al. (2011). Chromosomal localization of two novel repetitive sequences isolated from the *Chenopodium quinoa* Willd. genome. *Genome* 54: 9, 710-717.

Langlie BS et al. (2011). Diversity in Andean *Chenopodium* Domestication: Describing A New Morphological Type From La Barca, Bolivia 1300-1250 B.C.. *Journal of Ethnobiology* 31: 1, 72-88.

Larrabure JAR (1948). Mineral Deficiency Symptoms In *Chenopodium* Quinoa Willd. Thesis. Tucson, Arizona: University of Arizona.

Mason SL et al. (2005). Development and Use of Microsatellite Markers for Germplasm Characterization in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Crop science* 45: 4, 1618-1630.

Mastebroek HD & H Limburg (1997). Breeding harvest security in *Chenopodium quinoa*. En

Proceedings of the COST 814 Workshop on Small Grains Cereals and Pseudo-cereals. Copenhagen, Dinamarca, 22-24 febrero 1996. pp. 79–86.

Maughan PJ et al. (2004). A genetic linkage map of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on AFLP, RAPD, and SSR markers. *TAG Theoretical and Applied Genetics* 109: 6, 1188–1195.

Maughan PJ et al. (2006). Molecular and cytological characterization of ribosomal RNA genes in *Chenopodium quinoa* and *Chenopodium berlandieri*. *Genome* 49: 7, 825–839.

Maughan PJ et al. (2009). Characterization of Salt Overly Sensitive 1 (SOS1) gene homoeologs in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Genome* 52: 7, 647–657.

Maughan PJ et al. (2012). Single Nucleotide Polymorphism Identification, Characterization, and Linkage Mapping in Quinoa. *The Plant Genome Journal* 5: 3, 114.

Meehl GA et al. (2007). Global Climate Projections. En Solomon SD, Qin MM, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M y HL Miller (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Reino Unido and Nueva York, NY, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Morales AJ (2011). Physiological responses of *Chenopodium quinoa* to salt stress. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 3: 13, 219-232.

Nelson DC (1968). Taxonomy and origins of *Chenopodium quinoa* and *Chenopodium nuttalliae*. Ph.D. Dissertation. Indiana University.

Oelke EA et al. (1992). Quinoa. In *Alternative Field Crops Manual*. University of Wisconsin Cooperative Extension Service, University of Minnesota Extension Service, Center for Alternative Plant & Animal Products. Disponible en HTTP: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/quinoa.html>> (Accedido diciembre 10, 2012).

Peterson AJ (2012). Salinity Tolerance and Nitrogen Use Efficiency of Quinoa for Expanded Production in Temperate North America. Tesis. Pullman, WA: La Universidad Estatal de Washington.

Pratt C (2003). AFLP analysis of genetic diversity in

the USDA *Chenopodium quinoa* collection. Tesis. Provo, Utah: Brigham Young University.

Reynolds DJ (2009). Genetic Dissection of Triterpenoid Saponin Production in *Chenopodium quinoa* Using Microarray Analysis. Tesis. Provo, Utah: Brigham Young University.

Ricks MD (2005). Genetic mapping of the bitter saponin production locus (BSP locus) in *Chenopodium quinoa* Willd. Tesis. Provo, Utah: Brigham Young University.

Robinson RG (1986). Amaranth, quinoa, ragi, tef, and niger: tiny seeds of ancient and modern interest. Agricultural Experiment Station, University of Minnesota: St Paul, Minneosta.

Romero S & S Shahriari (2011). A Food's Global Success Creates a Quandary at Home. *The New York Times*, 20 marzo. p.6.

Ruiz-Carrasco K et al. (2011). Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry* 49: 11, 1333–1341.

Sederberg MC (2008). Physical Mapping of Ribosomal RNA Genes in New World Members of the Genus *Chenopodium* Using Fluorescence In Situ Hybridization. Dissertation. Provo, Utah: Brigham Young University.

Sigsgaard L, SE Jacobsen & JL Christiansen (2008). Quinoa, *Chenopodium quinoa*, provides a new host for native herbivores in northern Europe: Case studies of the moth, *Scrobipalpa atriplicella*, and the tortoise beetle, *Cassida nebulosa*. *Journal of Insect Science*, 8: 50, 1-4.

Stevens MR et al. (2006). Construction of a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) BAC library and its use in identifying genes encoding seed storage proteins. *TAG Theoretical and Applied Genetics* 112: 8, 1593–1600.

Sweet JL (1994). The mechanical removal of pericarp from the CO407 variety of quinoa seed. Dissertation. Fort Collins, Colorado: Colorado State University.

Swenson EM (2006). Genetic diversity of Bolivian *Peronospora farinosa* f. sp. *chenopodii* (downy mildew) and quinoa's resistance response. Tesis.

Provo, Utah: Brigham Young University.

Tamulonis JP (1989). In vitro callus production and shoot organogenesis in *Chenopodium quinoa* Willd. Tesis. Fort Collins, Colorado: Colorado State University.

Testen, AL, JM McKemy & PA Backman (2012). First Report of Quinoa Downy Mildew Caused by *Peronospora variabilis* in the United States. *Plant Disease* 96: 1, 146–146.

Testen AL, JM McKemy & PA Backman (2013a). First Report of Asochyta Leaf Spot of Quinoa Caused by *Asochyta* sp. in the United States. *Plant Disease* 97: 6, 844–844.

Testen AL, JM McKemy & PA Backman (2013b). First Report of *Passalora* Leaf Spot of Quinoa Caused by *Passalora dubia* in the United States. *Plant Disease* 97: 1, 139–139.

Tobin DP (1995). An historical geography of quinoa cultivation in the San Luis Valley: 1982–1992. Thesis. California, Pennsylvania: California University of Pennsylvania.

Torres JD (1955). Comparative study of resistance of alfalfa, brome grass and quinoa seedlings to synthetic saline soils, saline alkali and alkali soils. Tesis. Ithaca, New York: Cornell University.

Ward S (1991). Male sterility in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Thesis. Fort Collins, Colorado: Colorado State University.

Ward S (1994). Developing Improved Quinoa Varieties for Colorado. Dissertation. Fort Collins, Colorado: Colorado State University.

Ward S (2001). A Recessive Allele Inhibiting Saponin Synthesis in Two Lines of Bolivian Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Heredity* 92: 1, 83–86.

Watson P (2002). Heterosis in quinoa and its relation to genetic distance of parents in hybrid production. Thesis. Fort Collins, CO: Colorado State University.

Wilson H (1978). *Chenopodium quinoa* Willd.: Variation and relationships in southern South America. *National Geographic Society Research Reports* 19, 711–721.

Wilson H (1980). Artificial Hybridization Among Species of *Chenopodium* sect. *Chenopodium*. *Systematic Botany* 5: 3, 253–263.

Wilson H (1988a). Allozyme Variation and Morphological Relationships of *Chenopodium hircinum* (s.l.). *Systematic Botany* 13: 2, 215.

Wilson H (1988b). Quinoa biosystematics I: Domesticated populations. *Economic Botany* 42: 4, 461–477.

Wilson H (1988c). Quinoa biosystematics II: Free-living populations. *Economic Botany* 42: 4, 478–494.

Wilson H & Heiser Jr (1979). The Origin and Evolutionary Relationships of Huauzontle (*Chenopodium nuttalliae* Safford), Domesticated Chenopod of Mexico. *American Journal of Botany* 66: 2, 198–206.

Wilson H & J Manhart (1993). Crop/weed gene flow: *Chenopodium quinoa* Willd. and *C. berlandieri* Moq. *Theoretical and Applied Genetics* 86: 5, 642–648.

Wood RT (1989). Quinoa, the supergrain: ancient food for today. Japan Publications: Tokyo; Nueva York.

**CAPÍTULO: 6.42.****TÍTULO: AVANCES Y DESAFÍOS DE LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE LA QUINUA EN BRASIL**

*\*Autor para correspondencia:* Carlos Roberto Spehar <[spehar@unb.br](mailto:spehar@unb.br)>

**Autores:**

CARLOS ROBERTO SPEHAR<sup>\*1</sup>, JULIANA EVANGELISTA DA SILVA ROCHA<sup>2</sup>; WALTER QUADROS RIBEIRO JUNIOR <sup>2,3</sup>; ROBERTO LORENA DE BARROS SANTOS<sup>4</sup>; JOSÉ LUIS RAMIREZ ASCHERI <sup>2,5</sup>; FLIVIA FERNANDES DE JESUS SOUZA<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> UnB [spehar@unb.br](mailto:spehar@unb.br)

<sup>2</sup> Embrapa [julianaesr@hotmail.com](mailto:julianaesr@hotmail.com)

<sup>3</sup> [walter.quadros@embrapa.br](mailto:walter.quadros@embrapa.br),

<sup>4</sup> MAPA [roberto.lorena@agricultura.gov.br](mailto:roberto.lorena@agricultura.gov.br)

<sup>2,5</sup> [jose.scheri@embrapa.br](mailto:jose.scheri@embrapa.br)

<sup>6</sup> UnB, Ph. D. student [fliviafdejesus@gmail.com](mailto:fliviafdejesus@gmail.com)

**Resumen**

Brasil se ha convertido en un importante productor de granos, favorecido por las condiciones climáticas y por la tecnología de enmienda de suelos ácidos y mejoramiento de cultivos en la sabana. Los primeros intentos por introducir la quinua en su dominio como segundo cultivo comenzaron en la década de 1990, evaluando líneas de híbridos entre cultivares del altiplano andino sensibles a la duración del día. Esta progenie, con rendimientos mayores que en el centro de origen, tenía semillas pequeñas y altos contenidos de saponina. En vista del potencial de la quinua, el germoplasma fue aumentado mediante la introducción de una amplia gama de variabilidad desde los países andinos y los EE.UU., incluyendo accesiones de valles con semillas grandes y libres de saponinas. Una alta tasa de polinización cruzada en la sabana permitió una recuperación híbrida en la cual se derivaron progenies de plantas individuales, las que fueron puestas a prueba en ensayos uniformes para evaluar su calidad nutricional. Estos esfuerzos resultaron en los cultivares BRS Piabiru y BRS Syetetuba, obtenidos en la década del 2000, despertando el interés por la quinua en Brasil. Se han hibridado genotipos sobresalientes para estudiar la herencia genética del tipo de planta, tamaño de

las semillas, rendimiento de semilla y del contenido de componentes orgánicos y minerales para poder mejorar la eficiencia de la selección. El cultivo de la quinua ha sido limitado por la calidad intrínseca de su semilla, que en el corto plazo se vuelve inviable y se deteriora rápidamente en el campo en condiciones de alta humedad y temperatura. Se han desarrollado alimentos enriquecidos, luego de experimentos pioneros, aunque la mayor parte del grano y sus subproductos han sido importados debido a una oferta local reducida. A diferencia de los grandes cultivos, ha recibido poco apoyo en investigación y desarrollo, haciendo que sea difícil lograr avances. Sin embargo, los logros aquí informados podrían volverse una oportunidad para que las instituciones públicas y equipos conjuntos de universidades perfeccionen la tecnología. Los productores que podrían participar del cultivo comercial de la quinua son agricultores mecanizados de tamaño mediano a grande y agricultores familiares, con dos enfoques distintos, el segundo siendo orientado a la producción orgánica. Con la creciente demanda mundial se espera que la contribución de Brasil aumente en los próximos 20 años, reduciendo la presión sobre Bolivia y Perú, donde la quinua ha sido el único cultivo de exportación, privando a las poblaciones locales de este valioso alimento ancestral.



## 1. El papel de la quinua en la agricultura de la Sabana brasileña.

El ambiente natural de la Sabana brasileña, a pesar de estar restringido por condiciones de suelo y climáticas, no presenta incidencia de plagas y epidemias. En la región viven numerosas especies nativas, las que son adaptadas a la gran cantidad de nichos en territorio pequeño, un fenómeno típico de los trópicos. Esto ocasiona discontinuidad, aumentando la distancia entre individuos de la misma especie, asegurando una población equilibrada de organismos (Spehar, 2007).

Los suelos son ácidos, desprovistos de nutrientes, y necesitan modificaciones antes de volverse a la agricultura, mientras que el clima se caracteriza por ser lluvioso en la primavera y en verano y seco en el otoño y en el invierno. Hay un exceso de agua durante la época lluviosa mientras que se acentúa el déficit durante los seis meses de temporada seca (Spehar y Rocha, 2010).

Los principales problemas químicos del suelo han sido resueltos por la experimentación e investigación. La enmienda del suelo lograda por la adición de cal y fertilización con P, K y micronutrientes ha vuelto la Sabana en un importante territorio agrícola que depende del mejoramiento químico y físico del suelo y de la adaptación de cultivos como la soya a las bajas latitudes tropicales (Spehar et al., 2011).

En la historia reciente de la ocupación de la Sabana, sin embargo, han aumentado los grandes problemas fitosanitarios y de gestión del suelo. En general, la tenencia de tierras está marcada por grandes áreas agrícolas, cubiertas por algunos cultivos altamente especializados, donde domina la soya y el maíz híbrido. Con reducida base genética, el monocultivo de la soya se ha vuelto vulnerable a plagas y enfermedades graves (Czepak et al. 2013). El monocultivo continuo provoca problemas fitosanitarios y grandes impactos ambientales negativos, comprometiendo el futuro de la agricultura, y cancelando los avances tecnológicos apenas obtenidos durante los últimos 40 años (Spehar y Trecenti, 2011).

Los sistemas de producción en estos ambientes, para desarrollar y alcanzar la estabilidad, deben imitar lo más cercanamente posible la diversidad encontrada en la naturaleza. La ausencia de la limitación de temperatura al crecimiento de plantas permite cultivar la quinua, en rotación, en secuencia y en

asociación con otros cultivos (Spehar et al. 2011). Una combinación de especies con características botánicas diversas podría mitigar los impactos biológicos negativos del crecimiento de las plantas durante todo el año. Como aún se produce a pequeña escala, la diversificación es una estrategia para alcanzar una explotación sostenible.

La introducción de labranza cero ha permitido un sembrado eficiente y un mejor uso de la humedad. Se mantiene el programa de siembra y se logra el potencial de rendimiento del cultivo, abriendo un espacio para un segundo cultivo que protege el suelo y aumenta los ingresos (Spehar et al. 1997; Spehar y Trecenti, 2011). Se puede cultivar un tercer cultivo durante la estación seca; en ambos casos hay una oportunidad para que la quinua innove los sistemas de cultivo.

En Brasil ha aumentado el interés en la quinua para mejorar los sistemas de producción y la calidad de los alimentos, desde estudios pioneros en el ambiente de la Sabana, extendiendo su cultivo a otras regiones del país. Estos logros son el resultado de proyectos de investigación y desarrollo destinados a la adaptación de plantas de cultivo para la producción de granos, la protección del suelo y la diversificación del sistema agrícola (Spehar, 2007).

La quinua fue introducida por primera vez como un cultivo de seguimiento en la Sabana, utilizando la humedad residual de la temporada de lluvias, con siembra a finales del verano (Spehar y Souza, 1993). Además de su calidad como alimento, se ha demostrado que la quinua tiene mecanismos de tolerancia a la sequía, lo que resulta muy útil en una secuencia de cultivos (Jacobsen et al. 1998). Después de 20 años de esfuerzos continuos concentrados en la genética, reproducción, producción agrícola y gestión de suelos, se han obtenido resultados prometedores. La interacción de agronomía e investigación de alimentos ha identificado nuevos usos estratégicos para sus productos, de los cuales los resultados relevantes se informan aquí.

El cultivo tiene una historia corta pero interesante en Brasil y la cadena de producción se está desarrollando a medida que aumenta la demanda. Para estimular a los agricultores y otros miembros de la cadena, se ha hecho hincapié en su utilización, además de su función agronómica sinérgica. Su uso como alternativa para la diversificación contribuirá a

la creación de oportunidades para el mejoramiento de la agricultura y la calidad alimentaria. Los sistemas de producción diversificados resultantes deberán ser sostenibles tanto biológicamente como económicamente.

## **2. Perspectiva histórica de la investigación y desarrollo. Interacciones disciplinarias para promover la quinua en Brasil.**

Hasta la primera mitad del siglo pasado, el cultivo de quinua estaba limitado a las montañas andinas de Sudamérica en la agricultura de la subsistencia, en el centro de su origen y domesticación. No hubo informes de su crecimiento y uso en Brasil en ese momento. Su menor importancia como fuente de alimentación alternativa, más allá de su región de origen es atribuida al éxodo rural y al desdén de la población urbana por los cultivos autóctonos (Risi Carbone, 1986). Sin embargo, a mediados de la década de 1970 hubo una primera oportunidad para darse cuenta del valor de la quinua como cultivo potencial para Brasil, sobre la base de las investigaciones acerca de la composición nutricional de la proteína de sus granos respecto a los cereales (Spehar, 1976).

Desde hace 20 o 30 años ha habido interés en la quinua, principalmente por su alto contenido de proteínas y mejor equilibrio en aminoácidos esenciales que los cereales, además de minerales, vitaminas, y otros compuestos orgánicos (Borges et al., 2010; Ascheri et al., 2002). Estas propiedades han contribuido a popularizar el grano y sus subproductos entre personas que buscan un alimento alternativo, que induce al colesterol bajo (Spehar y Santos, 2002). La demanda mundial ha creado un mercado próspero, estimulando el cultivo de quinua en los países andinos con miras a la exportación, principalmente en Bolivia y Perú (Bonifacio, 1999).

La quinua fue introducida por primera vez en Brasil a principios de la década de 1990, con el objetivo de seleccionar nuevas opciones para los sistemas agrícolas de Sabana. Los esfuerzos estaban dirigidos a la selección de plantas individuales de poblaciones segregantes de híbridos generados en la Universidad de Cambridge, Inglaterra (Spehar y Souza, 1993). Estas plantas individuales fueron evaluadas principalmente en las tierras altas de la Sabana y agrupadas en madurez temprana, de mitad de ciclo y tardía (Spehar y Santos, 2005). Las pruebas de

rendimiento y estabilidad agronómica en distintas ubicaciones permitieron seleccionar líneas de alto rendimiento de granos clasificadas por madurez, tamaño de las semillas y contenido de saponina.

En 1996 las líneas con mejor desempeño fueron incluidas en parcelas de demostración con el apoyo de la Asociación Labranza Cero de la Sabana (APDC), Goiânia, GO, Brasil. Fue el primer contacto del nuevo cultivo con el público (Spehar et al., 1997). Alimentos preparados con los granos durante eventos de promoción llamó la atención de las personas relacionadas con la agricultura y los alimentos. En unos cuantos años, la quinua se hizo conocida en todo el país, a través de repetidos eventos similares en los medios de comunicación. La demanda comenzó por demostrar su valor para la diversificación de la agricultura, asociado con la calidad de los alimentos, estimulando la innovación en ambos frentes.

La investigación complementaria sobre mejoramiento, el manejo del cultivo, nutrición mineral y fechas de siembra contribuyó a desarrollar los aspectos agronómicos de la quinua y promover su adopción por productores (Spehar, 2007). Además, la composición del grano ha sido estudiada y se han desarrollado productos alimenticios. En general, estas acciones se han llevado a cabo conjuntamente, involucrando a la Organización Brasileña para la Investigación y Desarrollo Agrícola (Embrapa), la Universidad de Brasilia (UnB), y otros socios de investigación y extensión. Los esfuerzos conjuntos implicaron orientación a alumnos universitarios titulados y de postgrado, logrando la primera información definitiva que culminó en la adquisición de cultivares (Spehar y Santos, 2002; Spehar y Rocha, 2008).

La quinua ha sido introducida como un segundo cultivo en sistemas de labranza cero con miras a la protección del suelo, en secuencia después de la soya o del maíz, mientras que el grano sería utilizado ventajosamente en la industria de alimentos y raciones (Ascheri et al., 2002; Spehar, 2002). La planta completa podía ser utilizada como ensilaje para el ganado (Spehar y Santos, 2002). La búsqueda e identificación de usos y aplicaciones ha contribuido a un aumento del interés en invertir en la investigación y desarrollo. Hemos alcanzado la periferia para insertar la quinua en la agricultura brasileña.

La planta de la quinua produce una gran biomasa,

creando la oportunidad para su inclusión en sistemas de labranza cero para proteger los suelos (Spehar, 2009; Spehar y Lara Cabezas, 2000). Además, se ha mostrado que determinados genotipos son adaptables al cultivo totalmente mecanizado, con un costo de producción e ingreso operacional que aseguran un margen de ganancia competitivo (Spehar, 2007).

Las contribuciones a la investigación han resultado en un conjunto de tecnologías que se han promovido para iniciar la producción comercial. Un esquema de distribución de semillas organizado por Embrapa llevó a la primera experiencia de cultivo de quinua en Brasil. El interés de los agricultores ha aumentado, aunque la producción aún no se ha logrado a escala comercial debido a las razones presentadas en las secciones siguientes de este texto.

### 3. Recursos genéticos y avances en la selección.

La selección de la quinua y su liberación para cultivo es un evento reciente en Brasil (Spehar y Souza, 1993; Spehar, 2007; Spehar y Rocha, 2010). En la adquisición de cultivares, ha continuado la introducción de especies vegetales, seguido por la selección en poblaciones segregantes. A principios de los años noventa se introdujeron nuevas accesiones portadoras de granos grandes de la colección de germoplasma de EE.UU. en Iowa. Estas fueron previamente seleccionadas en un ambiente controlado y cultivadas en el campo en Planaltina, DF, ubicado en la Sabana alta. La mayoría de las accesiones se segregaron y fueron sometidas a una selección de plantas individuales, originando nuevas progenies, ampliando la colección existente.

Las progenies seleccionadas procedentes de tipos de valle tienen más probabilidades de producir cultivares prometedores para el cultivo comercial en la Sabana (Spehar y Rocha, 2010). Las evaluaciones, que incluyeron tipos del altiplano, del valle y tipos seleccionados localmente, hizo evidente el hecho de que, para la misma latitud (15-18°S), las primeras son de maduración temprana (80-100 días), las segundas de maduración a mitad de ciclo (120 días), mientras que en la Sabana alta las últimas alcanzan los 150 días desde la emergencia hasta la madurez (Santos, 1996; Spehar y Rocha, 2010; Spehar et al., 2011). Por contraste, los tipos de maduración temprana en la Sabana, al cultivarse en el altiplano Andino, aumentan considerablemente el número

de días para alcanzar la madurez, y esto se relaciona directamente con una baja temperatura media (Mujica-Sanchez et al., 2001).

La quinua ha sido definida como una planta de día corto, basado en su respuesta al fotoperíodo (Risi Carbone, 1986). Sin embargo, las accesiones que provienen de los valles tienen una respuesta diferente a las de gran altitud (Bertero, 2001). En regiones tropicales, donde no hay escarcha, la quinua puede ser cultivada durante todo el año, dependiendo del agua disponible para el crecimiento y reproducción de la planta. En las sabanas, la quinua crece en condiciones de secano a fines del verano hasta el otoño-invierno con regadío (Rocha, 2008).

Las tierras centrales de la sabana están ubicadas entre 800 y 1.200 m.s.n.m., donde la quinua ha sido objeto de estudio como un segundo cultivo a finales del verano, el otoño y el invierno (Spehar, 2007; Spehar y Rocha, 2010). El crecimiento de la planta y la arquitectura han sido utilizados en la selección para un cultivo mecanizado y de alto rendimiento, independientemente de la temporada de siembra. La factibilidad del cultivo de la quinua ha sido demostrada por investigaciones pioneras del rendimiento agronómico. La selección se ha beneficiado de una alta variabilidad dentro del genotipo para el número de días hasta llegar a la madurez (Spehar, 2007) procedente de la hibridación natural (Spehar, 2001; Spehar et al., 2011).

Sin embargo, la genética de la madurez, necesita comprensión para ayudar en la selección y caracterización del germoplasma (Spehar, 2007). Se deben considerar estrategias de mejoramiento cuyo objetivo es producir genotipos de distintos grupos de madurez, granos relativamente grandes y libres de saponina, inflorescencias compactas, resistencia al encamado y ausencia de dehiscencia (Rocha, 2011).

En relación a estas características, se han logrado avances en los últimos 20 años (Spehar y Rocha, 2010; Spehar y Santos, 2002). Los cultivares y genotipos pioneros de madurez tardía, libres de saponina y de granos pequeños contrastan con los granos más grandes y la madurez de mitad de ciclos adquiridos durante la selección. Sin embargo, existen ciertas limitaciones a las características deseables en una planta, lo que justifica una inversión continua en la selección. La tarea es obtener genotipos con una madurez de entre 100 y 120 días desde la

emergencia, una fase reproductiva larga y granos de alto rendimiento que posean la calidad y tamaño que demanda el mercado. Estos tipos encajan en cultivos dobles de labranza cero en muchas regiones del país, al mismo tiempo que logran un valor de mercado atractivo (Spehar, 2009).

Se han llevado a cabo investigaciones sobre las diferencias genéticas para la madurez, tamaño del grano y rendimiento, proporcionando información que orienta el fitomejoramiento de la quinua (Rocha, 2011). El primer cultivar recomendado, BRS Piabiru, toma 145-150 días desde la emergencia hasta la madurez fisiológica (Spehar y Santos, 2002), mientras que BRS Syetetuba, seleccionada de la misma base genética, madura en 120 días. En las sabanas, los dos cultivares presentan rendimientos respectivos similares independientemente de la fecha de siembra, ya sea en verano o en otoño-invierno. Sin embargo, en latitudes más altas en áreas con inviernos fríos, el número de días para alcanzar la madurez aumentó por el efecto de las bajas temperaturas (Spehar et al., 2011; Vasconcelos et al., 2012). El conocimiento de la herencia de los días hasta alcanzar la madurez es necesario por su relación directa con la madurez y el rendimiento de granos (Santos, 1996). Otras características de selección incluyen una fase reproductiva prolongada y la calidad de las semillas. La segunda podría ser un factor limitante para la producción de la quinua en los trópicos (Souza, 2013).

La observación del resultado de la progenie que ocurre de cruas naturales ha llevado a hipotetizar que la tardanza es un rasgo recesivo. Basado en observaciones, las plantas auto fecundadas de poblaciones segregantes muestran tipos tardíos en su progenie (Spehar, 2001). Se podría discutir que mutantes de baja aptitud que ocurren en el ambiente de origen de la quina podrían haber sobrevivido en poblaciones debido a la alogamia parcial, expresándose en valles andinos con temperaturas cálidas.

Se han informado tasas variables de polinización cruzada en diferentes ambientes en relación a la biología floral y los polinizadores (Lescano, 1980; Rea, 1969; Spehar, 2001). En Brasil, el agente de polinización más frecuente es la abeja *Apis mellifera*, aunque otras abejas autóctonas han sido asociadas con la quinua, visitando las flores en gran número durante la antesis (Rocha, 2011). Los datos sobre

la polinización cruzada en la sabana muestran un promedio de 15% de semillas híbridas entre variedades cultivadas de manera adyacente y simultáneamente, de acuerdo con observaciones del contenidos de saponinas, color del tallo, tipo de inflorescencia, y madurez (Spehar, 2001). Sin embargo, en áreas de cultivo comercial, en la fase de liberación del polen, las escasas poblaciones de abejas contrastaron con una densidad de 10-20 m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup> en áreas libres de insecticidas (Rocha, 2011).

Se llevaron a cabo experimentos en la sabana como parte de los esfuerzos para definir los factores genéticos que condicionan los rasgos relacionados con el rendimiento de granos, como días desde la primera flor hasta la madurez (Spehar y Santos, 2005). El objetivo era evaluar la herencia genética del número de días para alcanzar la madurez. I fue calculado sobre la frecuencia de tipos tempranos y tardíos dentro de los híbridos F<sub>2</sub>, obtenidos por la hibridación entre genotipos de quinua BRS Syetetuba temprana y BRS Piabiru tardía. Los datos indicaron la presencia de dos alelos dominantes para precocidad en este híbrido.

La selección de progenie por panoja y dentro de las progenies, generando familias, ha sido el paso inicial en el fitomejoramiento de la quinua. El procedimiento fue utilizado en la adquisición de variedades pioneras para ambientes a baja altura y con suelos ácidos, un punto clave en la diversificación agrícola de las sabanas (Spehar y Souza, 1993; Spehar y Santos, 2005).

Las poblaciones segregantes de híbridos de un amplio rango de variedades de quinua, mostraron considerables diferencias genéticas medidas por ciclo de la planta (número de días entre la emergencia y la madurez) y su arquitectura: largo, tamaño, forma y color de la panoja, y tamaño, color y contenido de saponina de los granos (Santos, 1996). Después de ciclos sucesivos de selección de progenie, se han obtenido genotipos con uniformidad fenotípica adaptables a los suelos mejorados de la sabana (Spehar y Santos, 2005).

La selección masal ha sido uno de los métodos más utilizados en el manejo de recombinantes de variedades existentes y en la estandarización de fenotipos deseables (Mujica-Sanchez et al., 2001). El método en sí tiene restricciones. Una de ellas es la reducción de la variabilidad por el proceso endógeno

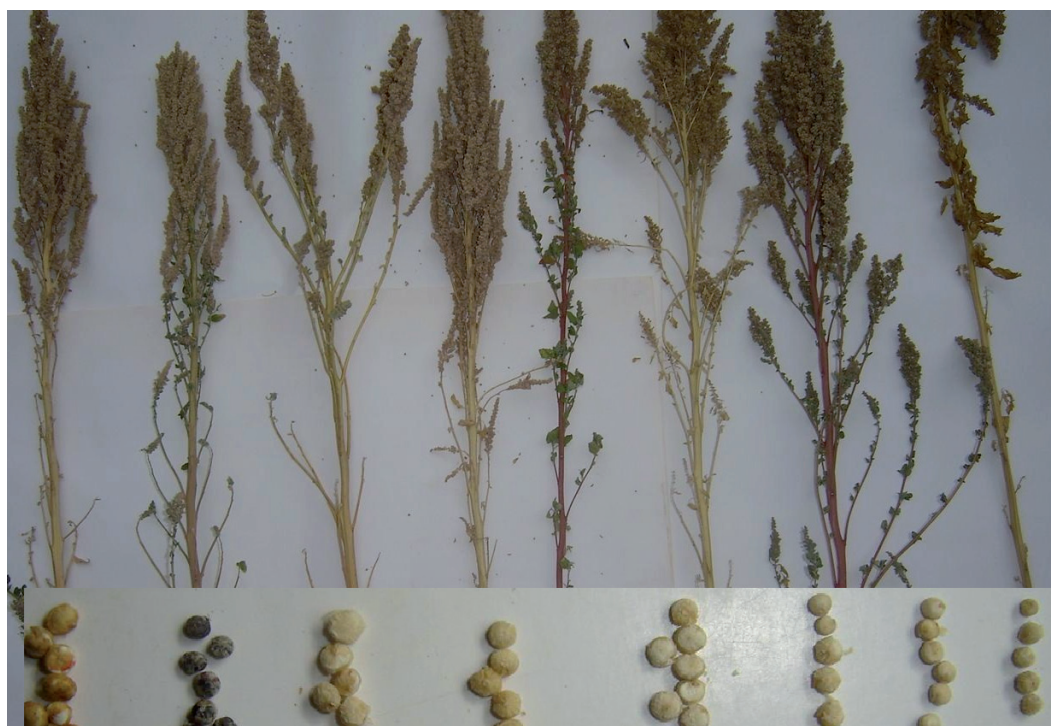


de fijar características deseables. Se ha demostrado por medio de pruebas de progenie que la ganancia genética se maximiza cuando estas derivan de cruces de genotipos locales sobresalientes (Spehar, 2001; Spehar y Santos, 2002; Spehar y Rocha, 2010).

En climas templados, el fenotipo es el resultado de efectos conjugados de la duración del día y la temperatura, que determinan el comienzo de la floración y la maduración en la quinua (Bertero, 2001). En el experimento de temporada de invierno en la sabana alta, los registros genotípicos para el máximo rendimiento de granos y biomasa fueron de 4,2 y 12,3t ha<sup>-1</sup> respectivamente, confirmando la falta de respuesta a la duración del día de la quinua cultivada bajo esas condiciones, similar a lo que se encuentra en las variedades de los valles andinos (Bertero, 2001). Estos patrones de crecimiento han sido encontrados en genotipos de sabana seleccionados en bajas latitudes, independientemente de la fecha de siembra, ampliando el periodo de siembra

(Spehar y Santos, 2005).

La presente colección mantenida por Embrapa comprende introducciones originales y los recombinantes seleccionados de la polinización cruzada. Se ha encontrado una considerable variabilidad en el contenido de saponina, color de las semillas, y tamaño y color del tipo de planta, de los cuales se presenta una muestra (Figura 1). Estas han sido recuperadas de individuos seleccionados que generan progenies, dentro de las cuales se forman familias. Para fijar la pureza genética, se ha practicado auto polinización de individuos deseables. En total, se han obtenido más de 1,000 accesiones, combinando caracteres deseables de adaptabilidad a las sabanas (Spehar, 2011). Aún debe ser estudiado si es que estos genotipos representan la diversidad encontrada en el centro de origen. Sin embargo, estas nuevas combinaciones genéticas podrían ser útiles en programas de fitomejoramiento de la quinua llevados a cabo en ambientes similares.



**Figura 1:** Muestra de la colección de genotipos de quinua brasileña: tipos de plantas e inflorescencias, con respectivos colores y tamaños de semilla.

#### **4. Valor de la colaboración internacional en las investigaciones de quinua en Brasil.**

Los primeros experimentos con quinua en Brasil fueron posibles gracias al apoyo de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, en 1988. Un proyecto de investigación para la adaptación de la quinua al Reino Unido comprendió la hibridación entre cultivares que dieron origen a un amplio rango de poblaciones segregantes (Risi Carbone y Galwey, 1984). La selección de plantas individuales fue realizada en el campo, basada en la hipótesis de que tipos con madurez extremadamente tardía en latitudes altas (Cambridge, 52° 12' N) son adaptables a los trópicos (Planaltina, DF, 15° 36' S). Por ende, los individuos seleccionados en el campo, originaron progenies introducidas y probadas en la alta sabana brasileña. Después de una evaluación experimental en 1989, estas progenies generaron la primera información acerca del rendimiento de la quinua en las sabanas brasileñas (Santos, 1996; Spehar y Souza, 1993). Las ganancias de investigación vinieron de esfuerzos conjuntos entre Embrapa y la Universidad de Brasilia. Se sabía poco de la quinua y de su valor, haciendo que fuera difícil priorizar la asignación de recursos; un trabajo temprano sobre la quinua fue realizado con mucha voluntad ante todo tipo de dificultades.

Los resultados del trabajo pionero con la quinua en Brasil fueron presentados durante el IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos en Cuzco, Perú (UNSAAC, 1997), con el apoyo de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO). En el lugar, se establecieron contactos con los investigadores de Perú y Bolivia y se lograron algunos intercambios de accesiones, además de la posibilidad de trabajos colaborativos entre Embrapa, la Universidad de Brasilia, y las Universidades e institutos de aquellos países, intercambiando información y accesiones.

En paralelo se realizaron contactos con Latinreco, el instituto de investigación y desarrollo de Nestlé, Quito, Ecuador. Esto creó oportunidades para un trabajo cooperativo, basándose en los prometedores resultados de la quinua en la producción comercial mecanizada (Wahli, 1990). Las accesiones de estos países e instituciones fueron introducidas en Brasil para enriquecer el germoplasma y se revelaron poblaciones segregantes cuando fueron evaluadas en el campo.

Bajo el auspicio de la FAO, durante la Reunión y

Taller Técnico para Formular un Proyecto Regional acerca de la Producción y Nutrición Humana basada en Cultivos Andinos, se llegó a acuerdos acerca de la promoción cooperativa de la quinua (Spehar, 1998). Las relaciones entre las instituciones fueron formalizadas, creando la oportunidad para que la producción de quinua pudiera abastecer la creciente demanda.

Además, por medio de un proyecto apoyado por el Centro Internacional de la Papa (CIP), la Agencia Internacional de Desarrollo Danesa (DANIDA), y con colaboración brasileña, se llegó a un acuerdo sobre el fitomejoramiento y la utilización de la quinua en los Andes y en lugares fuera de la región de origen, tal como la sabana brasileña (Jacobsen et al. 1998).

La colección fue aumentada sustancialmente por el apoyo de la Germplasm Resources Information Network (Red de Información de Recursos de Germoplasma - GRIN) en Ames, Iowa. Las accesiones que poseían características agronómicas variables, incluyendo granos grandes y la ausencia de saponina, fueron adquiridos con la ayuda considerable de David Brenner (Spehar, 2007). GRIN ha brindado un extenso intercambio de información para beneficio mutuo, cubriendo los aspectos de desarrollo agrícola y de alimentos, y debe ser tomado como un ejemplo del libre intercambio.

Además, las pasantías de universidades peruanas, francesas y alemanas en niveles de graduados y post-graduados han creado nuevas oportunidades. Estas ayudaron a seleccionar, generar información y agregar variabilidad al germoplasma existente por medio de evaluaciones comparativas de genotipos. Un amplio rango de genotipos, incluidos en las pruebas, definió el potencial y los límites biológicos, indicando las líneas investigativas para el mejoramiento de la quinua en las sabanas.

#### **5. Experimentos con quinua en ambientes tropicales bajo un régimen de labranza cero.**

##### **5.1 Experimentos iniciales.**

##### **5.1.1 Adquisición de genotipos adaptados.**

La quinua es sensible a las variaciones de duración del día y de temperatura al ser cultivada en zonas templadas, y estos factores son controlados genéticamente (Risi-Carbone, 1986). Suponiendo que su cultivo en los trópicos estaría basado en la selección de variedades tardías, se utilizó un enfoque

similar al de la soya (Spehar et al. 2012). Las progenies de plantas individuales de maduración tardía seleccionadas en Cambridge, Reino Unido, fueron cultivadas en experimentos de campo en el Centro de Investigación de la Sabana Brasileña, Embrapa Cerrados. Las selecciones dentro de las progenies originaron familias, adicionalmente seleccionadas por su uniformidad fenotípica, y fueron evaluadas preliminarmente y clasificadas en grupos de madurez en 1990. Se pusieron a prueba 64 progenies en un diseño reticular parcialmente equilibrado, con dos repeticiones. Cada parcela experimental estaba compuesta de cinco filas con distancias iguales entre ellas de 0,20 m y una densidad poblacional de 500 10<sup>3</sup> plantas ha<sup>-1</sup>. La cosecha comprendió las tres filas centrales, descartando 0,25 m en cada extremo. El experimento fue repetido en tres fechas de siembra: primavera-verano, verano-otoño, y otoño-invierno en suelos fertilizados de la sabana, de acuerdo con la tecnología recomendada (Santos et al., 2008).

Las líneas se diferenciaban en el número de días para alcanzar la madurez, la altura y rendimiento de la planta; el rendimiento promedio en el experimento fue de 2,4t ha<sup>-1</sup>. Aunque las plantas dieron granos pequeños con saponina, estos resultados alentaron la continuación de las investigaciones acerca de la quinua para una adaptación amplia a la sabana (Spehar y Souza, 1993).

### 5 1.2 Evaluación agronómica.

A veintiséis líneas de mejora, seleccionadas de la progenie de plantas individuales de híbridos entre los cultivares Amarilla de Marangani, Blanca de Junín, Chewecca, Faro 4, Improved Baer, Kancolla, Real, y Slares-Roja, se les evaluó sus caracteres agronómicos en Planaltina, DF, Brasil (15°36'S and 47°12'W), 1.005 m de altura, en bloques completos al azar, en un latosol (o Ferralsol, según la clasificación de la FAO) previamente encalado y fertilizado.

El rendimiento del grano estuvo asociado positivamente con la altura de la planta, largo y diámetro de la inflorescencia, y el ciclo de la planta. La ganancia genética puede ser obtenida por la selección basada en estos caracteres para la producción comercial de quinua en regiones tropicales (Spehar y Santos, 2005).

La práctica de labranza cero, que depende de la cubierta de los suelos, incluye pocas especies de sólo dos familias botánicas, es decir, el maíz, el mijo,

y el sorgo (Poaceae), y la soya y el poroto común (Fabaceae). La quinua ha sido introducida en la sabana como una opción para utilizar la humedad residual en la doble cosecha, como mantillo para cubrir el suelo y para la producción de granos. Los genotipos seleccionados fueron cultivados en otoño, después de la cosecha de soya, en Planaltina, DF, Brasil, ubicada a 15° 36' S y 47° 12' O, elevación de 1.005 m. Se llevaron a cabo experimentos en bloques completos al azar y tres replicas, bajo regímenes de irrigación suplementaria y de humedad residual. El rendimiento del grano para Q18 y Q24 fue de 2 200 y 1 153 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente bajo condiciones de irrigación y de estrés (Spehar y Santos, 2006).

El rendimiento de grano estuvo asociado positivamente con la altura de la planta y el ciclo de la planta. Los genotipos de madurez precoz tuvieron rendimientos más altos bajo estrés que los tardíos, con excepciones tales como Q24, que alcanzó un 56% del rendimiento obtenido bajo condiciones de suministro de agua adecuado. La selección para tolerancia a la sequía y crecimiento vigoroso, combinados con la madurez precoz del cultivo principal para poder anticipar la siembra, debería impactar positivamente el cultivo comercial de quinua en los trópicos (Spehar y Santos, 2006).

Los sistemas agrícolas basados en soya o maíz cultivados en verano podrían tener problemas con el manejo de malezas en cultivos posteriores. El efecto de los residuos de herbicidas en la quinua fue estudiado utilizando herbicidas recomendados para los principales cultivos de la sabana. Los tratamientos trifluralina, pendimetalina, clomazona, imazaquina, trifluralina + imazaquina y control fueron utilizados en soya, cv BR9 Savana, cultivada en verano. Se recolectaron muestras del suelo 15, 38, 100, 145, y 206 días después de la aplicación del herbicida. Las muestras fueron conservadas en el congelador a -5°C. Se realizaron bioensayos en invernaderos, cultivando el genotipo Q18. El herbicida imazaquina fue el más dañino para las plántulas de quinua, y sus residuos seguían activos 206 días después de la aplicación, mientras que con la clomazona el efecto residual duró 30 días. Estos resultados indicaron la necesidad de tamizar los herbicidas para seleccionarlos en base a la efectividad del control de maleza en los sistemas de producción que incluyen la quinua (Santos et al., 2003).

De los resultados informados, se confirmó la



adaptabilidad de la quinua a la producción de granos en la sabana brasileña. Sus frutos (de tipo aquenio) son cilíndricos, planos, y germinan rápidamente ante la presencia de humedad, después de lograr la madurez fisiológica. En su fase temprana de desarrollo, la quinua puede ser confundida con la maleza *Chenopodium album*, convirtiéndose en un problema en el cultivo de invierno. Sus diferencias morfológicas se volvieron más visibles después de la floración: abundante ramificación, con racimos terminales y axilares en *C. album*, en contraste con *C. quinua*. En el último, las panojas terminales son similares al sorgo; el pericarpio es de color claro, contrastando con el pericarpio negro de *C. album*.

Los resultados mostraron diferencias morfológicas entre BRS Piabiru, el primer cultivar de quinua de Brasil y *C. album*. BRS Piabiru tenía 190 cm de altura, madurez fisiológica a 145 días de su emergencia, resistencia al encamado y un peso promedio del grano de  $2,42 \text{ g } 1.000^{-1}$ . En *C. album* las plantas eran más pequeñas, ramificadas con panojas abiertas, con semillas muy pequeñas ( $0,52 \text{ g } 1.000^{-1}$ ). Tienen un estado latente, con germinación gradual, permaneciendo en el suelo durante muchos años e infestando los cultivos. Las diferencias en el número de cromosomas son una barrera natural contra la polinización cruzada entre especies.

Las diferencias morfológicas detectadas durante los experimentos demostraron que las dos especies son distinguibles y que la quinua muestra características de adaptabilidad para el cultivo comercial, en contraste con *C. album*, que presentó un comportamiento típico de las malezas (Spehar et al. 2003).

## 5.2 Selección de genotipos y rendimiento agronómico.

Se realizó un tamizado de las accesiones disponibles para granos grandes y la ausencia de saponinas. Diecisiete genotipos de quinua libres de saponina, seleccionados por sus caracteres agronómicos y rendimiento, fueron evaluados para estabilidad fenotípica en siembras de verano y de invierno. Fueron obtenidos por la selección de plantas individuales de las progenies de híbridos como parte de los esfuerzos de fitomejoramiento para adaptar el cultivo al sistema de labranza cero de la sabana brasileña. Los suelos latosol rojo oscuro y latosol rojo amarillo (ambos clasificados como Ferralsol)

fueron encalados y fertilizados antes del cultivo. Los experimentos fueron sembrados en dos fechas: 20 de diciembre (verano), 2006 y 30 de abril, 2007 (otoño-invierno), en latitud  $15^{\circ} 39'$  y  $16^{\circ} 14'$  S, longitud  $47^{\circ} 27'$  y  $47^{\circ} 44'$  O, con altitudes de 976 y 1.110m.

La temperatura promedio y precipitación total fue de  $23,0^{\circ}\text{C}$  y 1 435 mm respectivamente. En invierno, bajo irrigación controlada, la temperatura promedio fue  $2,9^{\circ}\text{C}$  más baja que durante el verano, cuando las plantas estuvieron expuestas a periodos de anegamiento. La Kancolla de madurez precoz, del altiplano peruano, y los cultivares seleccionados de la sabana BRS Piabiru y BRS Syetetuba, de madurez intermedia y tardía respectivamente, fueron utilizados como controles. Las comparaciones se basaron en la altura de la planta, madurez, rendimiento de biomasa y de granos, índice de cosecha (HI) y el peso de 1 000 semillas.

Los experimentos fueron realizados en un diseño de bloques completos al azar, con tres réplicas. El análisis de la varianza se llevó a cabo conjuntamente y para cada experimento. Durante el invierno, la mayoría de los genotipos seleccionados tuvieron un rendimiento, tamaño de grano y HI mayor que los cultivares de control, madurando en 120 días desde su emergencia. La altura de la planta era adecuada para la cosecha con cosechadora, aunque en verano los genotipos tuvieron un mayor rendimiento de biomasa y semillas más pequeñas, en contraste con el sembrado en invierno. Las progenies con rendimientos estables en ambos ambientes provinieron de plantas seleccionadas de las poblaciones Q79, Q80, y Q82.

La selección de genotipos en la sabana brasileña ha sido efectiva, reflejada por un mayor índice de cosecha que en los cultivares BRS Piabiru, de madurez tardío, y Kancolla, de madurez precoz. Las diferencias genotípicas se ven reflejadas en la altura de la planta, y en la producción de grano y de biomasa. Poblaciones de híbridos entre genotipos de rendimiento estable, podrían originar recombinantes superiores, siendo elegibles para el uso en programas de fitomejoramiento (Spehar y Rocha, 2010).

El cultivo comercial de la quinua en la sabana brasileña depende de la adaptación del cultivo y el manejo de la planta. Los genotipos seleccionados deben ser manejados en densidades poblacionales para el máximo rendimiento de granos. El experimento



fue llevado a cabo para determinar la densidad poblacional que resulta en el mejor uso de agua, luz, y nutrientes, con una buena cobertura del suelo durante el ciclo biológico (Spehar y Rocha, 2009).

La quinua, en su región de origen, es cultivada con noches frías y baja disponibilidad de agua, extendiéndose a los valles andinos. Ha ganado espacio en los trópicos de altas temperaturas, donde no se conocen las prácticas de manejo del cultivo. Este experimento con BRS Syetetuba con un ciclo biológico de 120 días en una granja en la sabana, estuvo orientado a comprender el efecto de la densidad poblacional en las características agronómicas y rendimiento. Las densidades variaron entre  $100 \times 10^3$  a  $600 \times 10^3$  plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

Excepto por la altura de la planta, asociada negativamente con un aumento en la densidad, el rendimiento de grano y de biomasa, el índice de cosecha y el peso de 1000 granos no se vieron afectados. Se logró la uniformidad del cultivo con  $300 \times 10^3$  plantas  $\text{ha}^{-1}$ . Estos resultados se explican por la extraordinaria capacidad de la quinua para compensar plantas faltantes. En densidades bajas, la ramificación y vigor de las plantas aumentó, lo que se refleja en un mayor número de días para alcanzar la madurez (Spehar y Rocha, 2009).

### **5.3 Morfología de las progenies seleccionadas de BRS Piabiru**

La doble cosecha en las sabanas ha mejorado para explotar el potencial de rendimiento y maximizar

los ingresos de los agricultores, abriendo una oportunidad para la quinua. Plantas individuales de madurez precoz de BRS Piabiru segregante han sido seleccionadas en el Centro de Investigación de la Sabana de Embrapa, para su cultivo en febrero-mayo (segundo cultivo) y mayo-septiembre (cultivo de invierno, irrigado). El periodo de crecimiento de BRS Piabiru es de 145 días desde la emergencia a la madurez, mientras que genotipos seleccionados maduran en 90-100 días.

La morfología fue evaluada en abril, 70 días después de la emergencia, en 968 progenies derivadas de BRS Piabiru, con 10 repeticiones para cada una de las siguientes características (descriptores): color y rayas del tallo, con sus respectivas intensidades (Figura 2); número de ramas y posición en la planta; forma de la hoja basal (Figura 3); altura de la planta y encamado. Las plantas fueron agrupadas en bajas (1,10 - 1,44 m), medianas (1,45 - 1,64 m) y altas (1,65 - 2,50 m). Se registraron las manchas en las hojas.

Las diferencias en las progenies (Cuadro 1) confirmaron la alta tasa de polinización cruzada informada por un estudio anterior (Spehar, 2001). Se seleccionaron nuevos recombinantes y su descripción será útil en la evaluación del rendimiento agronómico. El mismo procedimiento podría ser utilizado con BRS Syetetuba, que contiene altas variaciones morfológicas para características deseables en el mercado, previa a la selección de progenies y la adquisición de cultivares de alto rendimiento y de madurez precoz.

**Cuadro 1:** Frecuencia (%) de descriptores morfológicos en 968 genotipos provenientes de BRS Piabiru. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2012

Descriptor		Frecuencia (%)
Color de raya del tallo	Presente	99,5
	Ausente	0,5
	Verde	94,9
	Rojo	1,4
	Verde + rojo	3,6
Intensidad de color del tallo	Claro	39,3
	Medio	44,7
	Oscuro	16
Ramificación del tallo	Ausente	84,8
	Presente	15,2
Ramificación primaria	Número/Planta	3
Posición de rama principal	Inclinada desde el tallo	73,3
	Recta desde la base del tallo	26,7
Borde de la hoja	Lisa	21,1
	Puntiagudo	78,9
Pico/hoja	<3	76,7
	3 a 12	23,3
Variación de tipo de hoja	Sí	25,2
	No	74,8
Encamado	Sí	8
	No	92
Altura de la planta	Baja (1,10 - 1,44 m)	21,7
	Mediana (1,45 - 1,64 m)	67,9
	Alta (1,65 a 2,50 m)	10,3
Enfermedad de mancha de la hoja	< 5%	69,4
	5 - 10%	23,9
	10 - 20%	4,1
	20 - 50%	2,2
	> 50%	0,4



**Figura 2:** Color del tallo en la base del tallo de progenies seleccionadas de BRS Piabiru.



**Figura 3:** Tipo de hojas basales predominantes en progenies seleccionadas de BRS Piabiru.

## 5.4 Liberación de cultivares

### 5.4.1 BRS Piabiru - rendimiento agronómico y características

BRS Piabiru fue un cultivar pionero liberado para diversificar los sistemas de producción en las sabanas y para mejorar los ingresos de los agricultores. Además, al ser sembrado como segundo cultivo, podría sinergizar el control de plagas y enfermedades de los principales cultivos de verano, reduciendo los costos de producción. Su rastrojo, que permanece en el suelo después de la cosecha, podría mejorar el control de malezas en sistemas de labranza cero (Spehar y Trecenti, 2011).

Además, un sistema diversificado que incluye a la quinua como un cultivo alternativo podría mejorar el ciclo de nutrientes minerales y la protección del suelo, en base a los diferentes requisitos (Spehar, 2007). Una fuente de materia prima para varios productos ya exigidos en Brasil, podría contribuir a desarrollar la industria alimentaria y cosmética. La combinación de tolerancia a la sequía, alta calidad de proteínas, compuestos que condicionan el colesterol bajo, la ausencia de gluten y diversas formas de utilización han asegurado una oportunidad para su introducción en la agricultura brasileña. El rango de madurez de las especies varía entre 80 (Kancolla) y 145 días (BRS Piabiru) bajo condiciones de sabana.

BRS Piabiru fue una línea de fitomejoramiento seleccionada de progenies de EC 3, originarias de una población vegetal en Quito, Ecuador. Después de ser probada por dos años en el centro de Brasil, fue estandarizada para características agronómicas. Los resultados obtenidos en sucesión a la soya, utilizando humedad residual, y en la temporada seca,

bajo irrigación, obtuvo un rendimiento de grano promedio de 2 517 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 2). El rendimiento y posibilidades de uso y de mercado estimularon el interés por la quinua.

#### Características

BRS Piabiru tiene un hipocotilo de color variable entre verde y rosa. Sus hojas muestran polimorfismo, con un número de puntas superior a 12. Los gránulos de oxalato de calcio están abundantemente presentes en las hojas. El tallo es erguido, verde liso o rayado. La panoja está separada del tallo y es terminal, tipo amaranto y laxa, volviéndose amarilla en la madurez fisiológica. Los granos, frutos de tipo aquenio, tienen un pericarpio cilíndrico plano blanco, sin saponina. El perigonio, estructura que involucra la fruta, es verde, volviéndose amarillo en la madurez.

La altura promedio de las plantas en los experimentos fue de 1,90 m, de los cuales la panoja correspondía a un 25 %. La diferenciación de las flores ocurrió a 30 días de la emergencia, con la antesis comenzando a los 45 días. Las plantas han demostrado resistencia al encamado y los granos contenían 130 g kg<sup>-1</sup> de proteína. La primera opción para los agricultores, fue liberada en 2002 y se distribuyeron muestras de las semillas a los agricultores, con directrices para su cultivo.

Miles de muestras de semillas de BRS Piabiru fueron distribuidas en forma gratuita y, en muchas partes del país, se cultivaron pequeñas parcelas. Los agricultores proporcionaron retroalimentación, orientando la continuación de las investigaciones y resultando en nuevos genotipos. La experiencia con el primer cultivar de quinua fue gratificante, aumentando la investigación y desarrollo en muchas partes de Brasil.

**Cuadro 2:** Rendimiento del grano (kg ha<sup>-1</sup>) del cultivar BRS Piabiru, comparado con Q15 y Q2, en dos ubicaciones, 1998-1999 <sup>(1)</sup>. Fuente: Spehar et al., 2002.

Año	Ubicación	Genotipo		
		BRS Piabiru	Q15	Q2
1998	Planaltina, DF <sup>1</sup>	2832	2735	1920
	Rio Verde, GO <sup>2</sup>	3472	3247	2362
Media		3152	2991	2141
1999	Planaltina, DF <sup>1</sup>	2665	2331	1983
	Cristalina, GO <sup>1</sup>	2370	2430	1832
Media		2517	2380	1907

Segundo cultivo, con precipitación residual: <sup>1</sup>250 – 350 mm; <sup>2</sup>300-450 mm



### 5.4.2 BRS Syetetuba - rendimiento agronómico y características

Originaria de la población Q4, de valles ecuatorianos, la línea 4.5 tuvo un mejor rendimiento en relación con la madurez tardía de BRS Piabiru y la precoz de Kancolla (controles). Durante las pruebas fue estandarizada para caracteres agronómicos y nombrada BRS Syetetuba, que significa granos grandes y abundantes en el idioma indígena. En verano, otoño, secano e invierno, bajo irrigación, alcanzó un rendimiento de grano de 2.347 kg ha<sup>-1</sup> en 120 días desde la emergencia hasta la madurez

(Cuadro 3). El índice de cosecha, 0,31, fue más alto que en los controles, lo que explica su superioridad a BRS Piabiru de madurez tardía. BRS Syetetuba cumple con las características deseables para la producción comercial en la sabana, aunque se necesita seguir con la selección para obtener granos más grandes, utilizando variaciones genéticas en el cultivar para adecuarse a las exigencias del mercado y para estandarizar para uniformidad fenotípica. Se espera que las semillas de BRS Syetetuba liberadas atraigan el interés de los agricultores y consumidores.

**Cuadro 3:** Rendimiento del grano (kg ha<sup>-1</sup>) del cultivar BRS Syetetuba, comparado con BRS Piabiru y Kancolla, en dos ubicaciones, 2006-2007. Adaptado de: Spehar y Rocha, 2010.

Año	Ubicación	Genotipo		
		BRS Syetetuba	BRS Piabiru	Kancolla
2006	Planaltina, DF <sup>1</sup>	2011	1221	1402
2006-2007	Planaltina, DF <sup>1</sup>	2605	2425	921
	Planaltina, DF <sup>2</sup>	2431	1812	1613
	Cristalina, GO <sup>3</sup>	2341	1823	2102
Media		2347	1820	1509

<sup>1</sup> Verano-otoño, 250-300 mm de precipitaciones; <sup>2</sup> verano, 700 mm de precipitaciones; <sup>3</sup> irrigación en invierno, 450 mm

#### Características.

BRS Syetetuba tiene un hipocotilo de color claro y sus hojas son polimórficas, con oxalato de calcio. El tallo erguido es verde con rayas, aunque en menor frecuencia pueden ocurrir plantas con un tallo morado. Las panojas son terminales, tipo amaranto y con ramificaciones laxas, que se vuelven amarillas en la madurez. El perigonio es verde, volviéndose amarillo y abriéndose en la madurez, exponiendo los frutos. Las variaciones fenotípicas están asociadas con cruza naturales que pueden haber ocurrido durante las evaluaciones.

Las plantas, resistentes al encamado, miden 1,80 de alto, donde la panoja ocupa 0,60-0,70 m. El periodo entre la emergencia y la madurez es de 120 días. Los granos libres de saponinas pesan entre 2,5 y 3,3 g 1000<sup>-1</sup>, en verano e invierno respectivamente, conteniendo 18 g kg<sup>-1</sup> de proteína.

En el campo, los insectos asociados con la soya tales como *Nezara viridis*, *Pyezodorus guildinii* y

*Euschistos heros* han sido encontrados en las plantas de quinua, aunque aún no se informan daños. Al ser sembrado en áreas de labranza cero, es deseable que el suelo esté cubierto por rastrojo o después de la desecación del pastizal para evitar la infestación con malezas. Además, los herbicidas alaclor, setoxidin y metamitrona podrían ser utilizados en el control de malezas cuando predominan plantas de hoja angosta.

La fertilización de mantenimiento se basa en la composición de las plantas y sus rendimientos esperados. Suponiendo que el suelo fue previamente encalado y fertilizado, se recomiendan fósforo y potasio a tasas de 80-100 kg ha<sup>-1</sup>, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente, para rendimientos mayores a 2,0 t ha<sup>-1</sup>. El nitrógeno debe dividirse en 20-30 kg durante el sembrado y 40-50 kg ha<sup>-1</sup> 30-50 días después de la emergencia (Spehar y Rocha, 2010).

#### 5.5 Evaluación y selección genética para rasgos agronómicos y composición del grano.

El mejoramiento de los cultivos de quinua para su producción comercial descansa en la eficiencia de la selección de caracteres agronómicos clave. Además, la composición física y química también puede ser modificada explotando la variabilidad genética. Algunos rasgos de interés para la selección caben en modelos de herencia monogenética, como la presencia de saponina en los granos (Rivero, 1994). Sin embargo, algunos caracteres son de herencia compleja y podrían ser influenciados por el ambiente. El tamaño del grano, el tipo de planta y el número de días para alcanzar la madurez son algunos ejemplos que necesitan estudios integrales.

Comprender la genética de los caracteres cualitativos de la expresión fenotípica es esencial para el mejoramiento de la quinua (Jacobsen et al., 1998). Del mismo modo, marcadores genéticos Mendelianos, y morfológicos son útiles para la identificación de plantas híbridas y la selección de progenie. Sin embargo, su número es limitado y a menudo se utiliza el color de diversas partes de la planta.

Se determinó el modo de herencia de pigmentos en plantas de quinua de la proporción de híbridos de generación  $F_2$ . Las cruza y genotipos respectivos fueron: BRS Syetetuba x 34ZL, BRS Syetetuba x 37ZL, BRS Syetetuba x 40ZL, BRS Syetetuba x 44ZL and BRS Syetetuba x 9542L. El cultivar BRS Syetetuba, sin pigmento, fue utilizado como hembra, mientras que los genitores machos tenían un pigmento presente en el oxalato de calcio, las axilas foliares, las rayas del tallo y la inflorescencia.

La frecuencia genotípica en la progenie  $F_1$  mostró un 100% de plantas con pigmento rojo, con interacción intra-alélica del tipo dominancia completa, confirmada en la generación  $F_2$  con 3:1 rojo a verde. La tasa fue altamente significativa por prueba de chi-cuadrado, calzando en la proporción Mendeliana esperada. El pigmento se encuentra en la misma proporción en todas las partes de la planta, definiéndose como efecto pleiotrópico. Las plantas híbridas podrían ser identificadas en etapas tempranas del crecimiento, haciéndose una herramienta para la selección (Rocha, 2011).

Los parámetros genéticos y fenotípicos y las correlaciones genotípicas fueron determinadas en poblaciones de los mismos híbridos para altura de la planta, rendimiento, y peso de 1.000 semillas, en

apoyo al desarrollo de cultivares para las condiciones de crecimiento de la sabana brasileña. Los híbridos  $F_2$  fueron evaluados en bloques aleatorizados con tres réplicas, de las cruza BRS Syetetuba x 34 ZL, 37 ZL x BRS Syetetuba, BRS Syetetuba x 40 ZL, BRS Syetetuba x 44 ZL, y 9542L x BRS Syetetuba. La alta heredabilidad y coeficiente genético de variación para la altura de la planta en todas las cruza sugiere el uso de este parámetro para una selección eficiente. El híbrido BRS Syetetuba x 9542L mostró el mejor rendimiento para todos los caracteres, favoreciendo la inclusión de sus progenies en las siguientes generaciones.

Basado en el valor intrínseco de los granos de quinua, la demanda de los consumidores y de la industria, se estimula la investigación de la genética de la calidad orientada al mejoramiento para cada uno de sus diversos compuestos. Se llevaron a cabo estudios de identificación de la variabilidad genética para composición físico-química en híbridos de quinua. Los genitores y sus respectivos híbridos  $F_2$  fueron analizados para lípidos, fibra bruta, carbohidratos, humedad, materia seca y cenizas para apoyar la calidad y selección agronómica.

Se ha demostrado que las proteínas varían considerablemente en las progenies  $F_2$ , y el aumento en los niveles es aportado por BRS Syetetuba. El cultivar tuvo el nivel más alto de proteínas entre los genitores. Las cruza para el mejoramiento de la calidad de los granos puede realizarse, con oportunidades para la ganancia genética de los híbridos de los genotipos seleccionados por su alto contenido de proteína (Rocha, 2011).

## 5.6 Herramientas de selección.

### 5.6.1 Asociación entre color del grano y saponina.

El estudio involucró una muestra de la colección de variedades de mejoramiento del Centro de Investigación de la Sabana, de Embrapa, Planaltina, DF, Brasil. Un grupo de semillas lavadas y treinta y cinco genotipos de quinua fueron tamizados por el método de la columna de espuma y fueron clasificadas por el modelo de colores RGB (Red Green and Blue en inglés: R, rojo; G, verde; B, azul) con el objetivo de determinar la influencia del contenido de saponinas en el color del grano. Las semillas amarillas presentaron altos niveles de saponinas. Hubo una correlación negativa ( $p>0,05$ ) entre el método de la columna de jabón y las bandas

R ( $r = -0,751$ ), G ( $r = -0,660$ ), y B ( $r = -0,594$ ). Cuatro grupos eran fijos. Las pruebas confirmaron el acceso del grupo 4 como amargo (semillas amarillas) y el acceso del grupo 1 como dulce (semillas blancas). La dispersión de los estándares representa una probable diferencia en la frecuencia de alelos, reflejada por el color y la tasa de saponinas (Souza et al., 2004).

### 5.6.2 Clonación de plantas híbridas de la quinua.

La adquisición de semillas híbridas podría ser un factor limitante en el fitomejoramiento de la quinua. Algo que dificulta el análisis de varianza de los componentes es la cantidad de semillas  $F_2$  que son necesarias. A menudo, el híbrido  $F_1$  puede estar excluido de las evaluaciones, debido al número reducido de individuos. A pesar de que la planta de quinua produce un gran número de semillas para experimentos en campo, la inclusión de  $F_1$  permite generar evaluaciones medias.

Clonar las plantas de quinua podría ayudar a resolver este problema. Se cultivaron esquejes de cinco híbridos tratados con tres dosis de ácido indolbutírico en sustrato de crecimiento vegetal, utilizando un diseño experimental completamente aleatorizado. Los esquejes de quinua tomaron raíz independientemente del tratamiento hormonal, y su supervivencia demostró ser más dependiente en los sustratos y la alta humedad relativa. Las diferencias en el crecimiento de las plantas probablemente estaban más relacionadas con la edad del esqueje. Las plantas madres en fases de reproducción avanzada tuvieron un crecimiento y rendimiento reducido. Clonar las plantas de quinua podría ser una herramienta para apoyar al fitomejorador para aumentar las existencias de semillas híbridas (Rocha, 2011).

## 6. Estado actual y perspectivas sobre la diseminación de la quinua en Brasil.

Las investigaciones pioneras y las acciones de desarrollo durante los últimos 20 años se han convertido en la referencia para el cultivo de quinua en Brasil. Como resultado, el público ya ha incorporado el uso de sus granos y productos derivados, aunque la mayoría del suministro viene de los Andes bolivianos y peruanos, en las diversas formas exigidas por los consumidores.

Esta situación contrasta con la tecnología existente

para la producción en la sabana. La información técnica actualmente disponible es suficiente para el sector agrícola, aunque hay limitaciones por superar. Una de ellas tiene relación con las altas tasas de polinización cruzada en el ambiente brasileño, que provoca un impacto negativo directo en la uniformidad de cultivo de los cultivares disponibles (Spehar, 2001). Es necesario invertir en la producción de semilla genética y semilla básica. Pero, debido a su cultivo limitada, no es atractiva para el sector privado, y las instituciones públicas deben jugar un rol importante, formando sociedades para la producción de semillas.

Otro factor limitante es la baja calidad intrínseca de la semilla de la quinua. Incluso cuando las semillas son producidas de acuerdo con la tecnología recomendada (Spehar, 2007), hay problemas relacionados a conservar la capacidad de germinar y el vigor. La semilla de la quinua rápidamente pierde la capacidad de germinar en la sabana cuando es mantenida a la temperatura ambiente predominante. Su sensibilidad a las altas temperaturas ha sido demostrada en estudios de condiciones de almacenamiento (Souza, 2013). Independientemente de los niveles de humedad, la germinación de la semilla se mantiene a 4.4°C y se vuelve inviable a 25°C. Esto sería un revés para los agricultores de escala y los pequeños agricultores familiares, que tendrían que invertir en la producción y almacenamiento de semillas.

Si se considera sólo el valor de mercado, los altos precios de la quinua y sus subproductos han favorecido su inserción en la agricultura brasileña. Sin embargo, esto depende de las oportunidades comerciales. La quinua tiene una baja demanda, en comparación con otros granos, y el mercado se ve limitado por este bajo volumen. Por lo tanto, es más fácil para los agricultores trasladarse a otras opciones de cultivos de granos, donde los precios son atractivos, que invertir en un cultivo menos conocido con un mercado limitado y, por ende, riesgoso.

Además, la introducción de la quinua en los sistemas de producción obliga a los agricultores a dominar tecnologías específicas, que aún necesitan perfeccionamiento y divulgación (Spehar, 2007). La tecnología para los principales cultivos de granos se distribuye por los comerciantes de insumos, enfocados en producción a escala, donde la

diferencia se ve aumentada cuando se consideran cultivos menores como la quinua.

Se necesita continuidad en la investigación y desarrollo para llenar los vacíos existentes, dando prioridad a la genética y al fitomejoramiento, al mejoramiento de la agricultura, la fertilidad del suelo y la gestión de la nutrición vegetal, validación de la tecnología y prospección del mercado. Una solución integral para todos ellos llevará al desarrollo de la quinua en Brasil.

La materialización de logros con la quinua depende de equipos integrados que involucren a universidades e instituciones para maximizar el uso de recursos limitados. La experiencia de la Universidad de Brasilia y Embrapa, asociada con productores, ha contribuido con información y tecnología, impulsando la producción en Brasil (Spehar, 2006). La mayoría de lo que aquí se informa se originó en sociedades que necesitan refuerzos y nuevas inclusiones.

Equipos de expertos deben ser formados por estas iniciativas para seguir con la tarea de convertir la quinua en un cultivo comercial en Brasil. Las adiciones a la información ya acumulada y su mejoramiento serán materializadas en agricultura, mercado de venta al por menor del grano y en industrias de transformación.

Una vez que se encuentre una solución para los problemas existentes, la producción aumentará gradualmente durante los próximos 5 años, un periodo donde el producto nacional deberá competir con el importado. El desafío será producir quinua local, con certificación orgánica, que tenga estándares de calidad similares a las importaciones para satisfacer la demanda sofisticada interna. Esto será una oportunidad para los agricultores familiares, si se proporcionan incentivos gubernamentales adecuados, en contraste con la agricultura de gran escala.

En granjas grandes, con un alto uso de insumos químicos fertilizantes y pesticidas, hay un potencial para rápidamente alcanzar el volumen de producción. Esto despertará al mercado del público menos demandante, de menores ingresos, volviéndose una buena oportunidad para popularizar el uso de la quinua en la comida brasileña. Además, la creciente oferta podría aliviar el monocultivo que ya está provocando la

disrupción de sistemas agrícolas y problemas de suministro de alimentos y medioambientales en los países productores andinos (Echalar y Torrico, 2009, Jacobsen, 2011).

Basado en la proyección anterior para las sabanas, Brasil podría jugar un papel principal en el suministro de quinua tanto interno como para el mundo en los próximos 20 años. Habrán dos mercados: uno para satisfacer la demanda principal, utilizando la quinua de la agricultura a gran escala, y otro de la agricultura familiar para satisfacer la demanda de granos orgánicos, certificados, y sus subproductos. La calidad versus el precio definirá las relaciones comerciales, manteniendo nichos de mercado que favorecen el equilibrio y crean oportunidades.

Una demostración del rol de la quinua en el mejoramiento de los sistemas de cultivo, al reducir los costos y aumentar los ingresos, agregando calidad alimentaria para los consumidores, aumentará la producción. El volumen de la demanda y la oportunidad para generar ganancias atraerá el interés del sector privado, desarrollando el comercio y la industria. El atractivo de la calidad alimentaria llevará a una mejor salud física en la población. Así, la oferta de la quinua y otros productos de granos valiosos y menos explotados por la agricultura brasileña contribuirán a mejorar la seguridad alimentaria y nutricional a nivel local y en el mundo.

## **7. Usos y mercados para la quinua en Brasil.**

Las diversas formas de uso de la quinua en Brasil se derivan de la composición orgánica y mineral de sus granos, además de sus propiedades funcionales. Similar a la soya y al maíz, importantes granos agrícolas en la agricultura mundial, encontrar nuevos usos para la quinua ha contribuido a aumentar la demanda, creando la oportunidad para su inserción en el mercado brasileño. La primera iniciativa fue introducir la quinua como un alimento saludable alternativo, estimulando el interés de los productores y consumidores desde la década de 1990 (Spehar, 2007).

En los Andes, ha sido utilizada hace miles de años como un valioso alimento para enriquecer la dieta diaria. En su larga historia, se asocian la domesticación y sus múltiples usos. Algunos aún son desconocidos en otras partes del mundo. La composición de aminoácidos esenciales se



aproxima a la de la caseína de leche, y ha alimentado a lactantes durante y después del destete en la zona rural, una tradición común entre los pueblos locales (Ascheri et al., 2002). Considerando las similitudes con la alimentación de lactantes en Brasil, los productos de quinua podrían calzar en la demanda, agregando valor nutricional.

Los granos de quinua y sus productos han sido utilizados por adultos en Brasil, asociada a platos existentes, aumentando su calidad e intensificando su sabor. El exquisito sabor de la quinua fue experimentado por primera vez por el público en preparaciones simples, como parte del esfuerzo por introducir el grano y popularizar sus usos (Spehar, 2007). En la alimentación animal, el grano y la planta han sido utilizados ventajosamente por encima de otros productos agrícolas similares. Se han desarrollado dietas especiales que combinan quinua con otras fuentes de alimento para personas de edad y pacientes en recuperación. Además ha sido utilizada para mitigar los desórdenes causados por la enfermedad celíaca (alergia al gluten). Estos diversos usos han contribuido a aumentar el interés por la quinua, consolidando la demanda.

Otros compuestos orgánicos, tales como lípidos y almidones únicos, además de minerales y vitaminas B y E, han creado nuevas oportunidades para hacer que los productos derivados y procesados de quinua sean atractivos para el público y para la industria (Nascimento et al., 2003; Ascheri et al., 2002). Se espera que, al alcanzar un nivel crítico de demanda, haya espacio para que la agricultura local incluya la quinua como una alternativa, dando inicio a la cadena de producción.

### 7.1 Propiedades y usos de la planta y el grano.

La planta de quinua, en todas las etapas de su crecimiento, puede ser consumida por humanos y por el ganado y, con este alcance, se han identificado nuevas oportunidades en Brasil. En su crecimiento inicial, los brotes pueden ser cosechados y utilizados como espinaca, mientras que en la diferenciación de las flores las yemas pueden ser usados como brócoli (Spehar, 2007). Estas partes de la planta, sin embargo, contienen altos niveles de oxalato de calcio que se reduce en ebullición. Las variaciones genéticas para el oxalato de calcio en el germoplasma podrían ser utilizadas en una selección para bajo contenido y

para uso directo como verduras. Durante la fase reproductiva la planta completa podría ser utilizada como forraje para el ganado. En los genotipos de madurez tardía las plantas pueden ser cortadas antes de la floración, permitiéndoseles retomar su crecimiento y reproducción en cultivos de doble propósito (Tavárez et al., 1995).

Las saponinas fueron consideradas como factores indeseables en los granos. Aunque está presente en algunos genotipos, los cultivares disponibles en Brasil están libres de estos glucósidos y pueden ser utilizados directamente. Los granos cosechados, mantenidos en las mismas condiciones que otros cultivos, pueden ser utilizados de diversas formas: i) hervidos en agua y aliñados como ensalada; ii) fritos y hervidos con especias de la misma manera que se hace con el arroz; iii) agregados a sopas y salsas. Estas preparaciones son fáciles de hacer en la agricultura familiar y por el consumidor urbano de Brasil. Además, la harina puede ser utilizada en la mazamorra para los bebés y en postres, pan enriquecido, panqueques, galletas, y bebidas.

Preparaciones de cocina fueron desarrolladas en asociación con los esfuerzos tempranos para introducir la quinua en Brasil (Spehar, 2007). Se aproximan a los hábitos alimenticios existentes y son bastante diferentes a las utilizadas en los Andes, haciendo popular a la quinua en base a su calidad y exquisito sabor (Cuadro 4).

Algunas formas simples de preparación, asociadas con el interés del público sobre las comidas que promuevan la salud, han sido el punto de inicio del consumo de la quinua en Brasil (Spehar, 2007). La ensalada ha sido modificada por restaurantes y por los proveedores de alimentos en recetas más sofisticadas. El pan enriquecido original ha sido hecho de diferentes formas por la acción creativa de individuos, restaurantes, y por la industria de los alimentos. De la misma manera, las galletas han sido mejoradas utilizando la primera receta aquí presentada. Otras recetas han sido utilizadas por personas comunes y corrientes y por restaurantes para preparar panqueques nutritivos y hechos en casa.

Cuando estas recetas de comida preparada en casa fueron desarrolladas, no había usos para la quinua en Brasil. La variedad de comida derivada

entrando al mercado en los últimos 10 años ha superado todas las expectativas. El pan enriquecido actualmente disponible en muchas formas en el mercado brasileño, que contiene quinua y varios otros granos, es el resultado de estas iniciativas pioneras. El valor nutricional del pan enriquecido con quinua ha sido demostrado (Stikic et al., 2012).

La investigación y el desarrollo, asociado con la promoción, popularizó a la quinua con impactos

positivos para la seguridad alimentaria y nutricional. Esto ha sido un motivo para continuar la búsqueda de nuevas formas de consumo, como por ejemplo los fideos, para extender los usos y productos derivados (Caperuto et al., 2001). Las propiedades nutricionales deberían alentar a los consumidores y a las industrias a seguir innovando alimentos con quinua. Se espera que, con el grano siendo producido en grandes cantidades, los precios bajen y aumente el acceso por un gran número de gente.

**Cuadro 4:** Recetas básicas que usan granos de quinua para satisfacer los hábitos alimenticios brasileños.

INGREDIENTE	PREPARACIÓN
<b>PAN ENRIQUECIDO<sup>1</sup></b>	
Harina de quinua y de trigo (1:3), agua, azúcar, sal, levadura, aceite vegetal	Calentar el agua, agregar el azúcar, agregar sal (a gusto) y levadura; mezclar con las harinas y el aceite, esperar hasta que duplique su volumen, amasar, preparar los panes, esperar; hornear a 180°C durante 15 minutos.
<b>ENSALADA<sup>1</sup></b>	
Granos de quinua (2 tazas), agua (2 tazas), dientes de ajo, media cebolla, cebollín picado, tomates y pepinos en cubitos, jugo de limón, aceite de oliva	Lavar los granos, agregar agua y hacer que hierva durante 5-8 minutos; esperar hasta que enfríe; agregar los otros ingredientes; jugo de limón, aceite de oliva, y sal a gusto.
<b>GALLETAS<sup>1</sup></b>	
Harina de quinua, granos, almidón de maíz (1:1:2); agua o leche, huevos, mantequilla, azúcar y sal (a gusto), polvos de hornear	Remojar los granos de un día para otro; mezclar con agua, huevos, sal y azúcar en la licuadora; verter en un recipiente hondo, agregar almidón, harina y polvos de hornear; verter en molde aceitado y hornear a 180°C durante 20-30 minutos.
<b>CREPE/PANQUEQUE<sup>1</sup></b>	
Granos de quinua, harina de trigo o almidón de maíz (2:1), mantequilla, huevos, agua o leche, sal. Para panqueques, agregar polvos de hornear.	Remojar los granos de un día para otro; moler en la licuadora hasta que estén líquidos; mezclar con los otros ingredientes, agregar sal a gusto, licuar; calentar la sartén y agregar un poco de aceite; verter hasta cubrir, esperar 1 minuto, voltear. Servir con jarabe, mermelada o miel; alternatively se puede usar con una cubierta salada.

<sup>1</sup>Desarrollado por E.C. Spehar

## 7.2 Procesamiento de la quinua y productos de valor agregado.

El procesamiento de la quinua puede realizarse en agricultura pequeña o familiar, combinándola con los otros granos y productos disponibles en la explotación. Esto debiera llevar a una dieta enriquecida de las poblaciones rurales, mientras

que el excedente se destina al mercado. Además, se espera que la comercialización de la quinua aumente los ingresos de los pequeños agricultores. Las industrias comunitarias desarrolladas por asociaciones de agricultores podrían mejorar el procesamiento artesanal, a pequeña escala. Por otro lado, las grandes industrias absorberían la

mayor parte de la agricultura comercial a gran escala.

En la explotación familiar, los alimentos enriquecidos pueden ser preparados con recetas simples y básicas, adaptadas a los sabores particulares de las fuentes alimenticias existentes. Ejemplos de recetas que han sido adaptadas a la cocina brasileña se presentan en la (Tabla 4). Estas formas han promovido el uso de la quinua en el país y han abierto las vías a diferentes formas de procesar alimentos.

Otra posibilidad en la explotación familiar es utilizar los granos de quinua de baja calidad rechazados por el mercado, y utilizarlos como forraje para los animales domésticos (Cardozo y Bateman, 1961; Jacobsen et al., 1996). Los productos de animales

alimentados con quinua pueden ser comercializados de manera ventajosa en comparación con los que provienen de raciones equilibradas artificialmente.

A nivel comunitario otros productos pueden ser obtenidos por la industria de procesamiento local. Una preparación simple son los granos de quinua extruidos, utilizando un cañón de extrusión. Estos granos expandidos podrían volverse un material base para comida especial. Desde estos granos extruidos se pueden obtener harina instantánea, hojuelas, chips y otros productos elaborados para la nutrición humana. Algunas preparaciones que se ceñirían a las preferencias del público brasileño se informan aquí, representando tentativas para mejorar la salud (Cuadro 5).

#### **Cuadro 5:** Extrusión de la quinua y su uso en preparaciones de alimentos

Fuente: Spehar et al., 2007.

INGREDIENTE	PREPARACIÓN
<b>QUINUA EXTRUIDA</b>	
Granos de quinua	Poner los granos en el cañón de extrusión, calibrar ajustando la temperatura y la presión para que se expandan
<b>BARRA NUTRITIVA<sup>1</sup></b>	
Quinua extruida (15 tazas); miel o melaza (1 taza); pasas (1 taza); hojuelas de maíz (2 tazas)	Calentar la miel o la melaza en una sartén; agregar los granos extruidos, pasas, y hojuelas, poner en una bandeja, presionando firmemente, esperar hasta que esté consistente y cortar en barras
<b>GRANOLA<sup>1</sup></b>	
Quinua extruida, hojuelas de maíz o de avena (5:2), melaza o miel, coco rallado, pasas	Poner la miel o melaza en una sartén, humedecer con agua y calentar; agregar las hojuelas, coco rallado; poner en un horno a 120°C durante 15 minutos; agregar las pasas y mezclar

<sup>1</sup>Adaptado de B. Pelizzaro, y H. Pelizzaro, Celeiro Alimentos, Brasília, DF, Brasil

### **7.3 Oportunidad para nuevos productos.**

El uso de la quinua por la industria de los alimentos ha aumentado y ha causado un impacto directo en la salud pública. En asociación con la agronomía, se ha comparado la composición de los granos de quinua producidos en Brasil con la composición de los granos de los Andes (Rocha et al., 2010; 2010).

La calidad deseable de la quinua ha sido mantenida al producirla en la sabana brasileña. La alta calidad de los granos y sus usos potenciales deberían apoyar las políticas públicas para introducir la quinua en las comidas escolares para mejorar la nutrición de los alumnos y desarrollar el gusto por los alimentos nuevos a temprana edad.

Le presente tendencia entre los habitantes de zonas urbanas de Brasil por demandar alimentos sanos y funcionales comenzó con la quinua. Sus propiedades han despertado el interés tanto de los consumidores como de la industria, ocupando una posición destacada entre los alimentos innovadores. Una variedad de alimentos que contienen quinua se han vuelto disponibles, después de los esfuerzos en investigación y desarrollo ya informados. Con el alto valor biológico de la proteína, el almidón que resiste temperaturas de congelación y su potencial uso como agente espesante de los alimentos, las nuevas aplicaciones aumentan las posibilidades para la quinua (Ascheri et al., 2002; Wahli, 1990).

Las comparaciones de alimentos procesados con granos extruidos producidos en Brasil han mostrado la superioridad de la quinua en relación al arroz y al maíz en cuanto a lípidos, proteínas y fibra (Ascheri et al., 2002). Puede ser utilizada en la industria para enriquecer alimentos y para producir harina instantánea con un mejor valor que la que proviene de cereales (Cuadros 6 y 7). Su estabilidad y valor biológico amplían la demanda de la quinua para aplicaciones diversificadas (Spehar, 2002).

Promover la quinua como una alternativa para la salud y seguridad en Brasil ha producido resultados formidables. La inclusión de otros cultivos de granos innovadores y menos explotados es una contribución adicional de la iniciativa conjunta entre la agronomía y la alimentación.

**Cuadro 6:** Harina instantánea cuya composición centesimal se ha obtenido de granos extruidos de quinua, maíz, y arroz pulido, con el respectivo valor calórico (Kcal 100g<sup>-1</sup>) (Fuente: Ascheri et al., 2002).

Harina	Humedad	Proteína	Lípidos	Fibra	Carbohidratos	Cenizas	Valor calórico
Quinua	4,8	12,2	5,6	4,4	70,5	2,3	396,0
Maíz	12,1	7,6	1,2	0,5	78,1	0,5	355,6
Arroz	11,1	7,5	0,3	2,1	78,9	2,1	349,3

**Cuadro 7:** Composición de aminoácidos de la harina instantánea obtenida de las granos extruidos de quinua, maíz, y arroz pulido. (Fuente: Ascheri et al., 2002).

Harina	Aminoácidos (mg 100g <sup>-1</sup> )								
	ASP	GLU	SER	HIS	GLI	THR	ALA	ARG	TIR
Quinua	1.160	1.962	578	387	681	452	562	1.133	359
Maíz	400	899	209	152	167	149	322	251	152
Arroz	758	1.253	301	166	230	184	324	501	2.231
	CIS	VAL	MET	TRP	PHE	ILE	LEU	LIS	PRO
Quinua	422	560	210	N.D. <sup>1</sup>	505	458	623	710	480
Maíz	151	242	74	N.D.	234	219	610	141	754
Arroz	359	339	119	N.D.	318	260	502	194	331

<sup>1</sup>N.D. = no determinado

Las particularidades alimenticias de la quinua, como planta y grano sobresaliente, han sido confirmadas en cultivares adaptados cultivados en la sabana brasileña (Spehar, 1976). Se espera que su incorporación gradual a nuevos alimentos contribuya a aumentar la demanda y,

en consecuencia, la producción y el mercado. Las tendencias para las nuevas raciones que promuevan la salud animal aumentarán y abrirán oportunidades adicionales para la quinua. Se ha observado un alto rendimiento sanitario en el ganado alimentado con raciones que contienen



cantidades controladas de saponinas (Cheeke, 2001). El alto nivel de metionina en la harina (Tabla 7) tiene el potencial de aumentar los usos y demanda de la quinua en el consumo de vacas lecheras.

### 8. Preguntas y problemas de la difusión de la quinua en Brasil.

Sin duda, Brasil aumentará su participación en la agricultura mundial como un principal proveedor de granos. El potencial de introducir granos se expandirá para incluir cultivos que son fuentes únicas de nutrientes, minerales, y vitaminas, como la quinua. Otros granos que se demandan en algunos países o regiones del mundo, tales como los granos de amaranto, trigo sarraceno, teff, garbanzos y sésamo podrían entrar en el sistema de cultivo de la sabana, rotando con la quinua (Spehar, 2009).

No hay una solución sencilla a las crecientes amenazas de pestes y enfermedades asociadas con el monocultivo en los trópicos. Aunque la escala y patrón de la agricultura en las sabanas ha emulado la de las zonas templadas del mundo, hay grandes diferencias en el clima (Spehar, 2009). El continuo crecimiento vegetal multiplica los patógenos e insectos dañinos, permitiendo que aparezcan nuevas cepas y variedades virulentas. Hay ejemplos de plagas recientemente introducidas a Brasil, como *Helicoverpa armigera* (Czepak et al., 2013). Como muchos otros insectos es polifágica; ataca diversos cultivos y su control es problemático.

Varias enfermedades han adaptado su biología a especies de cultivo y de no-cultivo, atacando y dañando a las plantas, comprometiendo el rendimiento y calidad de los productos finales. Este es el caso del añublo del arroz, que provoca daños a la mayoría de los cereales y plantas anfitrionas indígenas asociadas con la variabilidad del patógeno (Choi et al., 2013). Las enfermedades típicas de la quinua aún no han sido reportadas en el medioambiente de Brasil, quizás debido a la amplia diferencia en comparación con los Andes, a pesar de que deberían ser una preocupación, especialmente el mildiú lanoso, *Peronospora farinosa* (Danielsen et al., 2003).

Las soluciones temporales al dilema del clima templado, como el vacío sanitario, eliminación de

plantas de cultivo espontáneas originadas de la pérdida de semillas durante la cosecha previa, se volverán ineficaces. La inclusión de soya, maíz y algodón genéticamente modificados en los sistemas de producción para controlar malezas y pestes, es efectiva sólo cuando hay rotación de los cultivos. Los monocultivos repetidos destruirán estas costosas tecnologías porque las malezas y pestes, inevitablemente, desarrollarán resistencia. Por lo tanto, se necesita la diversificación con cultivos de familias botánicas diferentes, y esto debiera ser una de las prioridades para la investigación y desarrollo. La iniciativa debe provenir de las instituciones de investigación públicas, influyendo en las acciones del gobierno.

En este escenario hay una oportunidad para la quinua como opción para la rotación. Sin embargo, las decisiones de los agricultores son fuertemente influenciadas por las fuerzas del mercado, donde los grandes comerciantes juegan un papel principal. Además de los problemas sanitarios, los cultivos homogéneos con poca rotación han sido expuestos a dos grandes limitaciones: el clima y los precios. La producción menos diversa significa una alta vulnerabilidad, a pesar de la tecnología disponible, para los cultivos predominantes de soya y maíz.

Las políticas públicas deben dirigirse a la diversificación de cultivos por las razones ya presentadas, enfocándose en el futuro, observando y aprendiendo de las dinámicas de la vida. Cabe enfatizar el equilibrio de la diversidad, exhibido en la exuberante vegetación de los trópicos. Debería orientar la planificación y las acciones coordinadas para una agricultura sostenible. Las alternativas deberían hacerse disponibles y la tecnología de producción debe ser implementada.

Un aumento en el número de cultivos permite hacer un mejor uso de los factores de producción, reduciendo el riesgo y los costos, mientras que se maximizan las ganancias. Esto debe ser demostrado, hecho público a través de los poderosos medios de comunicación, como el ejemplo de la quinua aquí informado. La investigación y desarrollo y la promoción de especies vegetales innovadoras debe ser apoyado por el gobierno federal y local en la forma de incentivos para la diversificación agrícola y alimentaria.

Los nuevos productos deben ser promovidos y estar disponibles para mejorar la dieta y seguridad alimentaria de la gente (Spehar, 2009). Además, los sistemas diversificados necesitan el apoyo de las políticas públicas para gestionar las capacidades y capacitación técnica para los agentes de extensión y campesinos. Las acciones conjugadas deberían consolidar a la quinua y a otros cultivos novedosos en Brasil.

Se espera que el mercado brasileño de quinua aumente después de la apelación a la nutrición y salud. Varios productos han sido desarrollados innovando a partir de los gustos del consumidor, siguiendo la iniciativa pionera asociada con el mejoramiento de los cultivos. Los productos actuales del mercado, como yogurt, harinas, hojuelas, barras nutritivas y fideos, estimulan a los consumidores y a la industria a seguir invirtiendo en una diversidad de combinaciones, utilizando a la quinua como innovador de alimentos. Esta iniciativa debería abrirse a otros cultivos menos explotados, como ya ha sido mencionado.

Hay oportunidades en los sistemas de producción, y se espera que la quinua sea una prometedora opción para la labranza cero. Una encuesta en las sabanas del sudoeste del Estado de Goiás, identificó que el 100% de los productores de granos basan sus cultivos en la soya (Levin y Fox, 2004; Jayme-Oliveira, 2013). Con las prolongadas lluvias de la región, el 80% de ellos cultiva maíz como un segundo cultivo durante Febrero a Junio, utilizando la humedad residual. Sin embargo, las pestes y enfermedades han aumentado en el sistema de soya-maíz (Toledo-Souza et al., 2008). Hay amenazas a la economía de los agricultores debido al aumento en los costos de producción y la reducción del rendimiento, y también amenazas al medioambiente.

La encuesta concluyó que los agricultores estarían listos para introducir la quinua en sistemas de cultivo, basándose en los ingresos esperados y su relativa tolerancia a la sequía. No estaban al tanto de los beneficios específicos al sistema, y estuvieron sorprendidos por el crecimiento de la planta y otros caracteres agronómicos, útiles en el sistema integrado de cultivos-ganado. Los muchos usos posibles tales como pastoreo, ensilaje, o el residuo después de una cosecha estimuló a los agricultores para introducir la quinua en sus esquemas de

producción (Spehar, 2006).

Además, las saponinas presentes en la quinua han demostrado efectividad en reducir las infestaciones con nematodos y moho blanco (*Sclerotinea sclerotiorum*) en las plantas (Ferraz y Freitas, 2013). Las contribuciones de la quinua podrían extenderse, además de la producción de biomasa y granos, a la protección del suelo, minimizando la exposición a la radiación solar. La pérdida de materia orgánica en los suelos descubiertos podría impactar negativamente en sus características físicas, químicas, y biológicas (Spehar y Trecenti, 2011). Es la base esencial del desarrollo de la labranza cero.

Dado el escenario y las oportunidades para la innovación aquí presentadas, hay un ámbito para que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) desempeñe un papel principal, coordinando, promoviendo, y apoyando las acciones para la diversificación de la agricultura y los alimentos. Los gobiernos, universidades e instituciones son partes interesadas claves para dirigir proyectos de equipos multidisciplinarios orientados a la inserción de nuevos cultivos en la agricultura tropical moderna, tomando la experiencia brasileña como referencia.

Desde un cultivo prácticamente desconocido más allá de su lugar de origen, la quinua está al borde de convertirse en un miembro valioso de la agricultura mundial. Es un ejemplo que despertará oportunidades para la diversificación de modo sustentable. Los autores esperan que la experiencia con la quinua en Brasil sea de ayuda para apoyar el desarrollo de proyectos para ambientes semejantes en todo el mundo.

## Referencias

- ASCHERI, J. L., SPEHAR, C. R. y NASCIMENTO, N. E. (2002). Caracterización química comparativa de harinas instantáneas por extrusión de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), maíz y arroz. *Alimentaria*, 39 (331): 82-89.
- BERTERO, D. H. (2001). Effects of photoperiod, temperature and radiation on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions. *Annals of Botany*, 87 (4): 495-502
- BONIFACIO, A. (1999). Aspectos agrícolas y de

- mejoramiento de la quinua en Bolivia. In: REUNIÓN TÉCNICA Y TALLER DE FORMULACIÓN DE PROYECTO REGIONAL SOBRE PRODUCCIÓN Y NUTRICIÓN HUMANA EN BASE A CULTIVOS ANDINOS. 1998, Arequipa, Peru. Memorias. Lima, Peru. p. 91-98.
- BORGES, J. T., BONOMO, R. C., PAULA, C. D., OLIVEIRA, L. C. y CESARIO, M. C. (2010). Physicochemical and nutritional characteristics and uses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Temas Agrarios*, 15 (1): 9-23.
- CAPERUTO, L. C., AMAYA-FARFAN, J. y CAMARGO, C. R. O. (2001). Performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) flour in the manufacture of gluten-free spaghetti. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81 (1): 95-101.
- CARDOZO, A. y BATEMAN, J. V. (1961). La quinua en la alimentación animal. *Turrialba*, 11: 72-77.
- CHEEKE, P. R. (2002). Actual and potential applications of *Yucca schlidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. En: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2. 2002, Uberlândia. **Anais**. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal. p.127-131.
- CHOI J., PARK S-Y., KIM B-R., ROH J-H., OH I-S., HAN, S-S. y LEE, Y-H. (2013). Comparative analysis of pathogenicity and phylogenetic relationship in *Magnaporthe grisea* species complex. *PLoS ONE* 8(2): e57196. doi:10.1371/journal.pone.0057196
- CZEPAK, C., ALBERNAZ, K. C., VIVAN, L. M., GUIMARÃES, H. O. y CARVALHAIS, T. (2013). First reported occurrence of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Brasil. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43 (1): 110-113.
- DANIELSEN, S., BONIFACIO, A. y AMES, T. (2003). Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Review International*, 9 (1-2): 43-59.
- ECHALAR, A. M. y TORRICO, J. C. (2009). Consecuencias del incremento de la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano sur de Bolivia. *CienciaAgro*, 1(4): 117-123.
- FERRAZ, S. y FREITAS, L. G. (2013). **O controle de fitonematóides por plantas antagonistas e produtos naturais**. Barreiras, BA: JCO Bioprodutos <http://jcofertilizantes.com.br/pesquisas/>
- [pesquisa16-o-controle-defitonematoides.pdf](#)
- JACOBSEN, S. E. (2011). The situation for quinoa and its production in Southern Bolivia: From economic success to environmental disaster. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197:390-399.
- JACOBSEN, S. E., HILL, J. y STOLEN, O. (1996). Stability of quantitative traits in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Theoretical and Applied Genetics*, 93:110-116.
- JACOBSEN, S. E., NUÑES, N., SPEHAR, C. R. and JENSEN, C. R. (1998). Quinoa: A potential drought resistant crop to the Brazilian Savannah. In: International Conference of Sustainable Agriculture in tropical and Subtropical Highlands with Special Reference to Latin America. Rio de Janeiro, Brasil.
- JACOBSEN, E. E., SKADHAUGE, B. y JACOBSEN, S. E. (1997). Effect of dietary inclusion of quinoa on broiler growth performance. *Animal Food Science Technology*, 65: 5-14.
- JAYME-OLIVEIRA, A. A. (2013). **Prática da safrinha e os desafios para a diversificação de cultivos**. <http://s://docs.google.com/file/d/0BwJEbB5PzVvTVmdNWTNqenJOWnc/edit?usp=sharing>
- LEVIN, J. y FOX, J. A. (2004). **Elementary statistics in social research**. São Paulo: Pearson. 497p.
- LESCANO, R. J. L. (1980). Avances en la genética de la quinua. En: Reunión de Genética y Fitomejoramiento de la Quinua. Puno, Perú: Universidad Nacional Técnica del Altiplano, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, IICA, Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo. p. 81-89.
- MUJICA-SANCHEZ, A., JACOBSEN, S. E., IZQUIERDO, J. y MARATHEE, J. P. (2001). **Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancetral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro**. Food and Agriculture Organization (FAO): Santiago, Chile.
- NASCIMENTO, R. E., SPEHAR, C. R., ASCHERI, J. L., MATHIAS, V. L. (2003). Harina instantánea mixta de quinua integral (*Chenopodium quinoa* Willd) y harina de arroz: I. Efecto de las condiciones de extrusión en la composición contesimal, aminoácidos y minerales. *Alimentaria (Madrid)*, 340: 81-88.
- REA, J. Biología floral de la quinua (*Chenopodium*

quinoa). (1969). Turrialba, 19: 91-96.

RISI CARBONE, J. J. M. (1986). **Adaptation of the Andean grain crop quinoa for cultivation in Britain**. Cambridge: University of Cambridge. 338 p. Tesis de doctorado.

RISI CARBONE, J. J. M. y GALWEY, N. W. (1989). The *Chenopodium* grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Advances in Applied Biology* 10:145–216

RIVERO, J. L. L. (1994). Genética y Mejoramiento de cultivos altoandinos. PIWA, Puno, Peru. 459 p.

ROCHA, J. E. S. (2008). **Seleção de genótipos de quinoa com características agronômicas e estabilidade de rendimento no Planalto Central**. 2008. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, DF, Brasil, 114 p. Tesis de magister.

ROCHA, J. E. S. (2011). **Controle genético de caracteres agronômicos em quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, DF, Brasil, 166 p. Tesis de doctorado.

ROCHA, J. E. S., SPEHAR, C. R., ROSA-CAMPOS, A. A. y BORG, L. A. (2010a). Comparação da composição centesimal da quinoa BRS Piabiru cultivada no verão e no inverno brasileiro In: II Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos e I Congresso do Instituto Nacional de Frutos Tropicais, 2010, Aracaju, SE, Brasil Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2010. p. 598 – 601.

ROCHA, J. E. S., SPEHAR, C. R., ROSA-CAMPOS, A. A. y BORG, L. A. (2010b). Diferença na composição físico-química de quinoa cultivada no Brasil e no Peru En: II Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos e I Congresso do Instituto Nacional de Frutos Tropicais, 2010, Aracaju, SE, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2010. p.594 – 597

SANTOS, R. L. B. (1996). Estudos iniciais para o cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) nos Cerrados. Brasília: Universidade de Brasília, Tesis de magister. 129p.

SANTOS, F. C., NEVES, J. C., NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H. y SEDIYAMA, C. S. (2008). Modelling lime and fertilizer recommendations for soybean. *Brazilian*

*Journal of Soil Science*, 32:1661-1674.

SANTOS, R. L. B., SPEHAR, C. R. y VIVALDI, L. (2003). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) reaction to herbicide residue in a Brazilian Savannah soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38 (6): 771-776.

SOUZA, F. F. J. (2013). Physiological quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds stored at different environments and containers Universidade Estadual de Goiás, Anápolis. Anápolis, GO: Universidade Estadual de Goiás, Brasil, 64 p. Tesis de Magister.

SOUZA, L. A. C., SPEHAR, C. R. y SANTOS, R. L. B. (2004). Image analysis in saponin determination of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:157-163.

SPEHAR, C. R. (2011). Diversidade de recursos genéticos em pseudocereais. En: COSTA, A. M., SPEHAR, C. R. y SERENO, J. R. (Eds.) *Conservação de Recursos Genéticos no Brasil*, pp. 384-402. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.

SPEHAR, C. R. (2009). Challenges and prospects to realize diversified agriculture in the tropics. In: *WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE*, 4: Innovations for Improving Efficiency, Equity and Environment, pp.223–229. OSIDC, New Delhi.

SPEHAR, C. R. (2006). Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, 23 (1), 41-62.

SPEHAR, C. R. (2007). Quinoa: Alternative to diversify agriculture and food. 104 p. Embrapa Cerrados: Planaltina, DF, Brasil. (en portugues).

SPEHAR, C. R. Caminhando pelo Cerrado. *Jornal da Ciência*, 3280. (2007). <http://www.jornal@daciencia.org.br/Debate/Debate.jsp?id=47708>.

SPEHAR, C. R. (2002). Utilização da quinoa como alternativa para diversificar alimentos. En: *SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL*. Uberlândia, MG, Brasil: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal/UFU. 2002. p. 49-58.

SPEHAR, C. R. (2001). Cruzamentos naturais e variabilidade genética em quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). En: *SIMPÓSIO DE RECURSOS GENÉTICOS PARA A AMÉRICA LATINA E CARIBE*, 3,



- 2001, Londrina, PR, Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2001. (available in cd).
- SPEHAR, C. R. (1999). Proyecto validación, difusión y desarrollo del amaranto y quinua para los sistemas de producción de granos en las sabanas del Brasil. En: MUJICA, A., J. IZQUIERDO, J.P. MARATHEE, C. MORÓN, JACOBSEN, S. E. (eds.). Reunión Técnica y Taller de Formulación de Proyecto Regional Sobre Producción y Nutrición Humana en Base a Cultivos Andinos. Arequipa, Perú, 1998. Memorias. P. 165-179. Santiago, Chile: Oficina Regional para América Latina y el Caribe, FAO.
- SPEHAR, C. R. (1976) Genetics of proteins in plants. Documento presentado en curso de Genética Vegetal, University of Wisconsin. 20p.
- SPEHAR, C. R. y LARA CABEZAS, W. A. R. (2000). Introdução e seleção de espécies para a diversificação do sistema produtivo nos cerrados. En LARA CABEZAS W. A. R. and FREITAS, P. L. (Eds.) Plantio Direto na Integração Lavoura Pecuária. Uberlândia, MG: UFU. 2000. p.179-188.
- SPEHAR, C. R., PEREIRA, E. A. y SOUZA, L. A. C. (2011). Legume improvement in acid and less fertile soils, pp.263-275. In: PRATAP, A. and KUMAR, J. (Eds.) Biology and breeding of food legumes. CABI: Nueva Delhi.
- SPEHAR, C. R. y ROCHA, J. E. S. (2010). Exploiting genotypic variability from low-altitude Brazilian Savannah-adapted *Chenopodium quinoa*. Euphytica (Wageningen), 175: 13 - 21.
- SPEHAR, C. R. y ROCHA, J. E. S. (2009). Effect of sowing density on plant growth and development of quinoa, genotype 4.5, in the Brazilian savannah highlands. Bioscience Journal, 25: 53-58.
- SPEHAR, C. R. y SANTOS, R. L. B. (2006). Agronomic performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under two moisture regimes in a Brazilian Savannah soil. Bioscience Journal, 22: 61-66.
- SPEHAR, C. R. y SANTOS, R. L. B. (2005). Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 40: 609-612.
- SPEHAR, C. R., SANTOS, R. L. B. y NASSER, L. C. B. (2003). Diferenças entre *Chenopodium quinoa* e a planta daninha *Chenopodium album*. Planta Daninha, 21: 487-491.
- SPEHAR, C. R. y SANTOS, R. L. B. (2002). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) BRSPiabiru- Alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37: 589-593.
- SPEHAR, C. R., SANTOS, R. L. B. y SOUZA, P. I. M. (1997). Novas espécies de plantas de cobertura para o plantio direto. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2, 1997, **Anais**. Passo Fundo, RS: Embrapa-Trigo. p.169-172.
- SPEHAR, C. R. y SOUZA, P. I. M. (1993). Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ao cultivo nos cerrados do Planalto Central: Resultados preliminares. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 28: 635-639.
- SPEHAR, C. R. y TRECENTI, R. (2011). Agronomic performance of traditional and innovative species for double and dry season cropping in the Brazilian Savannah highlands. Bioscience Journal, 27: 102-111.
- TAVÁREZ, O. B., MARTÍNEZ, G. D. M., ONTIVEROS, J. L. R. y OROZCO, A. M. (1995). Evaluación forragera de 18 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Montecillo, México. Revista de la Facultad de Agronomía, 12 (1): 71-79.
- TOLEDO-SOUZA, E. D.; SILVEIRA, P. M.; LOBO JUNIOR, M.; CAFÉ FILHO, A. C. (2008). Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 43 (8), 971-978.
- UNSAAC. (1997). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), (Perú). Centro de Investigación en Cultivos Andinos (CICA). Asociación Arariwa. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos: Oscar Blanco Galdos. Resúmenes. 1997.
- VASCONCELOS, F. S., VASCONCELOS, E. S., BALAN, M. G. y SILVERIO, L. (2012). Development and productivity of quinoa sown on different dates during the offseason. Revista Ciência Agrônômica, 43 (3): 510-515
- WAHLI, C. Quinoa - Hacia su cultivo comercial. (1990). Quito, Ecuador: Latinreco S.A. 206 p.



# CONCLUSIONES



**CAPÍTULO: 7.1****TÍTULO: CONCLUSIONES:  
DESAFIOS ENTRE OPORTUNIDADES  
Y AMENAZAS PARA EL FUTURO  
DE LA QUINUA EN TORNO A LOS  
CAMBIOS GLOBALES**

\*Autor correspondiente: Didier BAZILE <didier.bazile@cirad.fr>

**Autores:**

DIDIER BAZILE<sup>a</sup>, SALOMÓN SALCEDO<sup>b</sup>, y TANIA SANTIVÁÑEZ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> UPR GREEN; CIRAD-ES; TA C-47/F; Campus International de Baillarguet; 34398 Montpellier Cedex 5 – FRANCE.

<sup>b</sup> FAO, Roma, Italia

<sup>c</sup> FAO, Santiago, Chile

El libro titulado “*Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*” es una publicación conjunta entre el CIRAD y la FAO, que reúne en un solo libro toda la información relevante sobre la quinua, generada por los más destacados investigadores del mundo, organizaciones de productores, tomadores de decisión, y todos aquellos que se preocupan por este alimento.

La quinua se cultiva desde hace más de 5000 años en los Andes, pero el cultivo estuvo fuertemente rechazado durante la época de la conquista española debido a su importancia cultural para los pueblos indígenas. Para fortuna desde los años 80 el potencial de la quinua como cultivo principal ha sido redescubierto y de esta manera el número de países que cultivan o que experimentan hoy con la quinua ha aumentado notoriamente. Entre los años 80 y la década del 2000, este número subió de 6 únicamente en la zona andina a 50 países bajo diferentes pisos ecológicos en distintas zonas climáticas del mundo. No se vislumbra un cambio de tendencia en el auge de la quinua porque al menos en este año veinte países más están interesados en empezar a cultivar la quinua si pudieran tener acceso a recursos fitogenéticos de la misma u obtener semillas mejoradas.

El boom de la quinua no es circunstancial. Si bien algunos cereales y leguminosas tienen un contenido de proteínas superior, hoy se reconoce que la quinua tiene el balance ideal de todos los aminoácidos esenciales para los seres humanos. Además, la importancia del ácido linólico (omega-3) y el hecho de que la mayor cantidad de variedades de quinua no contiene gluten hacen que la misma sea un alimento excepcional. Estas características nutricionales le otorgan a la quinua un gran potencial para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional mundial.

Pero el mayor interés en este cultivo andino para justificar su expansión mundial se debe principalmente a su resistencia a varios estreses abióticos, en particular, la sequía y la salinidad. Hoy día, una gran proporción de la producción agrícola en el mundo depende de la disponibilidad de agua y del riego. El uso intensivo de recursos hídricos limitados provoca una extracción excesiva de aguas subterráneas, con la consiguiente intrusión de agua de mar en las áreas costeras y la subsiguiente salinización de los suelos. Con el empeoramiento de las condiciones climáticas actuales debido al cambio climático, una enorme superficie del planeta se encuentra amenazada por los problemas de escasez de agua y de salinización



de los suelos. Estos fenómenos se han recrudecido en muchas áreas agrícolas, en particular en las zonas semiáridas del mundo. Para enfrentar esta situación, la alta diversidad genética de la quinua ofrece una repuesta para adaptarse a diferentes ambientes ecológicos con aquellos factores limitantes. El mejor ejemplo para evaluar la capacidad de adaptación de la quinua es recordar que la principal zona de producción de quinua en el mundo, ubicada en el Altiplano Sur de Bolivia, recibe menos de 150 mm de lluvia y tiene más de 200 días de heladas al año, los suelos son salinos ya que se encuentran en los alrededores del Salar de Uyuni y están ubicados alrededor de los 4.000 metros sobre el nivel del mar. Para resistir a estas condiciones extremas, los campesinos andinos seleccionaron durante generaciones los recursos fitogenéticos de la quinua, manteniendo una alta diversidad genética en sus variedades locales.

Para ayudar a comprender el potencial global de la quinua, este libro ofrece una serie de documentos científicos sobre el estado del arte de la quinua a nivel mundial. Los lectores a quienes está dirigido este libro son principalmente científicos, estudiantes y tomadores de decisión que pueden encontrar mucha información relevante y necesaria para llevar importantes planes para la lucha contra el hambre. Además está dirigido a las organizaciones de productores de quinua quienes también podrán beneficiarse de las tan diversas temáticas cubiertas en esta obra. Nuestro objetivo con este libro colectivo no es proporcionar una revisión histórica completa del cultivo de quinua, sino más bien difundir los últimos conocimientos disponibles de este “grano de oro” de los Andes. Para lograr esto, un total de 22 países de América del Sur y del Norte, de Europa, de África y de Asia contribuyeron a la escritura del libro. Fueron convocados 165 coautores, quienes trabajaron directamente en el proceso de escritura del libro, de los cuales, la mitad proviene de los cinco países andinos siguientes: Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador y Perú. El libro reúne 43 capítulos y cada uno está dedicado a un tema en particular. Está dividido en 6 partes temáticas, sobre las que a continuación señalamos algunos de los aspectos más destacados.

La primera parte del libro está dedicada a la botánica y la filogenia de la especie para ayudar a entender las dinámicas relativas a su proceso de

domesticación y de difusión para llegar a la actual área de distribución. En los diversos capítulos de esta parte, los autores nos aportan datos para entender con más detalles cómo la gran biodiversidad de la quinua ha sido conservada durante siglos por los pueblos indígenas. También el contenido de estos capítulos nos permite centrar la atención mundial sobre los riesgos actuales respecto a las regulaciones de los flujos de semillas a varias escalas. Aquellos movimientos de semillas entre grupos humanos representan un aporte a la dinámica evolutiva de la especie a través del mantenimiento de sus capacidades de adaptación para enfrentar los cambios globales. En los 7 capítulos de esta parte, los autores comparten nuevas ideas sobre la gran diversidad genética de la quinua y las nuevas herramientas genómicas que están disponibles para caracterizar los recursos fitogenéticos del cultivo. Rick Jellen y Jeff Maughan, investigadores de Brigham Young University en los Estados Unidos, describen los más recientes marcadores moleculares. Esta gama de herramientas de marcadores genéticos que desarrollaron es de libre acceso para todos los investigadores de quinua que la necesiten. Una revisión completa del estado de la conservación de los recursos genéticos de quinua, coordinada por Wilfredo Rojas de Bolivia, destaca no sólo la importancia de las colecciones *ex situ* de quinua presentes en los bancos de semillas de los países andinos, sino también la existencia de otros 25 bancos de semillas en países fuera de su zona de origen. Este fenómeno explica la expansión actual de la quinua a nivel mundial, con las últimas variedades mejoradas para climas templados desarrolladas principalmente en Europa y los Estados Unidos. Respecto al origen de los recursos fitogenéticos y su utilización para generar innovaciones, Marco Chevarria-Lazo, un abogado de Perú, lanza un debate estimulante sobre las relaciones Norte-Sur en la actualidad. Él compara el caso de la quinua con la expansión de la papa, hace dos siglos, cuando no existían normas nacionales o internacionales sobre las semillas para proteger los derechos de los agricultores en las comunidades indígenas de los Andes. Para contribuir a este debate, Unai Pascual, desde el Reino Unido, presenta su experimento en el Perú y Bolivia respecto a los pagos como incentivos (o subsidios) para la conservación *in situ* de la diversidad en la quinua, y explora el concepto de servicios de los



ecosistemas aplicado a los recursos genéticos en la agricultura. En esta primera parte se sintetiza la última información disponible para explicar la dinámica evolutiva de la especie *Chenopodium quinoa* Willd. desde su centro de origen en relación a sus parientes silvestres. La importancia de los recursos fitogenéticos existentes, tanto *in situ* como en los bancos de semillas (o *ex situ*), plantea su necesaria complementariedad para optimizar la conservación pero revela también los límites de los instrumentos reguladores para conservar y proteger sin impedir la innovación.

La segunda parte del libro es un estudio en profundidad de la biología de la quinua. Temperatura, duración del día, disponibilidad de agua y radiación solar son los factores clave que explican el desarrollo de la planta de quinua. Daniel Bertero, argentino especialista en quinua, describe la estrecha relación entre el desarrollo de la quinua y estos cuatro componentes del medio ambiente que controlan el crecimiento de las plantas. El potencial agrícola de la quinua para su difusión y su expansión en otras partes del mundo está ligado a su gran capacidad de adaptación al Cambio Climático y sus efectos. Stefania Biondi, bióloga de la Universidad de Bologna en Italia, describe la tolerancia y adaptación de la quinua en condiciones salinas, y Andrés Zurita-Silva, del Instituto Nacional Agropecuario de Chile, aborda a detalle algunas de las respuestas de la quinua y sus formas de adaptación a la sequía. Alejandro Bonifacio de Bolivia y Luz Gómez de Perú ofrecen una revisión histórica de los programas de mejoramiento de quinua, que incluyen todas estas características para aumentar no sólo el rendimiento de semillas sino también la resistencia de la quinua a plagas y enfermedades, y/o para mantener la calidad de sus granos. Esta segunda parte, además de presentar de forma global los aspectos agronómicos y ecológicos, cada capítulo presenta una revisión de la literatura sobre un factor biótico o abiótico particular con fines de entender más cómo a partir de su adaptación a diversos pisos ecológicos en la zona andina se puede extrapolar su inserción a otras regiones del mundo.

La tercera parte empieza con los diferentes métodos de procesamiento de la quinua para eliminar las saponinas de los granos para que sean aptos para el consumo humano. Jacopo Troisi, un químico de Italia,

explica que las saponinas en la quinua se pueden valorizar como subproductos para usos medicinales o cosméticos o como detergentes naturales. A pesar de los altos contenidos nutricionales de las semillas de quinua que son actualmente dirigidos principalmente para el consumo humano, Antonio Blanco, un agrónomo de Bolivia que trabaja en la Universidad Católica del Maule de Chile, demuestra el interés de la quinua como alimento para animales, con una descripción de las diferentes partes de la planta que se pueden utilizar para diferentes especies en las zonas marginales de la producción ganadera. Después, Francisco Fuentes, un genetista chileno que trabaja en la Universidad de New Jersey en los Estados Unidos, revisa las últimas investigaciones sobre las propiedades biológicas de la quinua como anti-oxidante, anti-inflamatorio o agente anti-cancerígeno. A continuación, Víctor Zevallos, gastroenterólogo del King's College en Londres, describe el potencial de la quinua para una dieta libre de gluten para los pacientes que sufren de la enfermedad celíaca. Los capítulos de la tercera parte abren una brecha respecto a la grande diversidad de usos que tiene la planta de quinua. El potencial de la quinua no se limita a la parte más visible de la alimentación humana. Pero detrás de esta diversificación posible de destinos y de productos con base en quinoa, tenemos que ver como los instrumentos legales elaborados para la alimentación y la agricultura convienen para considerar el cultivo de quinua en su globalidad.

La cuarta parte del libro revisa los mercados locales y globales de la quinua. Carlos Furche, actual Ministro de Agricultura en Chile, Salomón Salcedo, economista agrícola mexicano con la FAO y colaboradores, analizan la producción pasada y la demanda actual de quinua a nivel internacional, incluyendo las implicancias de las últimas fluctuaciones de los precios para la expansión de la quinua a nivel mundial. Perú y Bolivia siguen siendo los dos principales productores y en la actualidad se están desarrollando nuevos vínculos con diferentes importadores, pero los nuevos países productores que están surgiendo, incluyendo los EE.UU., Canadá, Francia, China y Marruecos, entre otros, seguramente pronto van a competir con los antiguos países exportadores y sus productores de pequeña y mediana escalas. Así, existe un riesgo evidente a nivel del mercado internacional de la

quinua de que estos países acaparen los mercados de nicho que hoy dominan los grandes productores andinos, sobre todo Bolivia y Perú, mercados donde también hoy buscan un espacio Ecuador, Chile y Argentina. El capítulo coordinado por Aurélie Carimentrand, especialista en comercio justo de la Universidad de Bordeaux en Francia, analiza cómo las distintas formas de certificación de la quinua (orgánica, justa, etc.) podrían aumentar el valor del producto en la cadena, y así beneficiar los ingresos de los agricultores y fomentar el desarrollo local.

La quinta parte del libro contiene capítulos centrados en los países andinos que producen quinua. En cada país, los principales especialistas que se dedicaron a la quinua en los últimos 50 años revisan las características de los sistemas de producción de quinua y su dinámica país por país. Estos capítulos no son temáticos, pero nos dan una visión holística de la quinua en cada uno de los países y en los distintos niveles, considerando la diversidad de actores involucrados en la investigación, producción, comercialización y conservación. Las perspectivas del futuro de la quinua en cada uno de los cinco países andinos se exploran con respecto a la aparición de estos nuevos actores, las nuevas políticas públicas para fomentar el cultivo de quinua. Estos capítulos plantean el éxito de la producción de quinua en sistemas frágiles y señalan las condiciones necesarias para lograr mantener la sostenibilidad de aquellos agroecosistemas.

La sexta y última parte del libro tiene 11 capítulos que presentan ejemplos de nuevos países o regiones que están produciendo quinua en Europa, Asia, África y América del Norte. Por ejemplo, Sven Jacobsen, de la Universidad de Copenhague en Dinamarca, describe la primera experimentación de quinua en Europa y su posterior importancia en el Reino Unido, los Países Bajos y Dinamarca, en los programas de mejoramiento del cultivo. Atul Barghava describe el potencial agrícola de la biodiversidad de la quinua de cara a la salinización de las tierras agrícolas en la India y Pakistán. Ouafae Benhabid, de Marruecos, revisa los diez últimos años de experimentación con la quinua en las zonas marginales de las montañas del Atlas y cómo la quinua podría beneficiar a los pequeños agricultores, aunque también se están desarrollando programas de producción de quinua a mayor escala con agricultores que tienen grandes superficies

en las planicies de Marrakech. La diversidad de situaciones donde se está experimentando la quinua hoy en día refleja la multiplicidad de los objetivos de los programas y proyectos: resistencia a la sequía, tolerancia a la salinidad, seguridad alimentaria, lucha contra la pobreza, mercado de exportación, diversificación de la agricultura familiar, mejoramiento de variedades, etc. Cada situación se relaciona con una problemática específica de desarrollo a diversas escalas, pero lo que aparece de forma transversal a nivel global es la importancia de las redes de investigadores para facilitar la expansión sostenible mundial de la quinua. Esto significa que la investigación y su misión de producir nuevos conocimientos debe ser la difusión o al menos garantizar su acceso para todos. Así, las regulaciones sobre los recursos fitogenéticos son centrales para frenar o facilitar la expansión actual del cultivo y para generar asociatividad o excluir a algunos actores.

En este sentido el libro *Estado del arte de la quinua a nivel mundial en 2013* se presenta como un panorama de los conocimientos actuales para reflexionar en los posibles escenarios de corto y largo plazo, dentro de los cuales la quinua continuará su expansión sobre la base de un acceso limitado a los recursos genéticos de los países andinos y los derechos de propiedad restrictivos sobre las variedades modernas desarrolladas en el Norte.

A corto plazo, el escenario dominante de la intensificación agrícola centrado en los avances de la genómica se ajusta al modelo agrícola de la agroindustria que nos aleja cada vez más de la producción sostenible de alimentos y al acceso a este alimento sano. El aporte global de este estado del arte de la quinua nos obliga a volver a dialogar entre pueblos para que el potencial de la quinua no se pierda en medio de conflictos respecto a acceso a recursos genéticos y semillas, sino que se constituya en una herramienta para desarrollar innovaciones conjuntas y compartir costos de su conservación. Si no nos preocupamos desde ahora sobre las implicancias de la expansión del cultivo de quinua, tanto la biodiversidad de este cultivo, así como el futuro de los pueblos andinos que dependen de la quinua para el desarrollo local de sus regiones se verán muy perjudicados

El desafío mundial para elaborar un escenario equitativo a largo plazo está ligado a la geopolítica de la quinua. Hoy en día, los nuevos centros de experimentación están surgiendo en países que antes ni siquiera eran importadores de quinua. Esto está creando una nueva competencia en el mercado global en donde los pequeños agricultores de los Andes probablemente no serán capaces de explotar su certificación orgánica o de comercio justo frente a los productores a gran escala que, a diferencia de ellos, tienen el capital financiero necesario para invertir en otra forma de intensificación. En este escenario, el papel de la quinua surge como aliada en la lucha contra el hambre. Frente a esta situación, lo que realmente se necesita es promover a la quinua no sólo como un cultivo, sino que como un sistema agroalimentario eficiente e inclusivo que impulse el desarrollo de los sectores más vulnerables y donde la cooperación Sur-Sur debe jugar un rol importante.

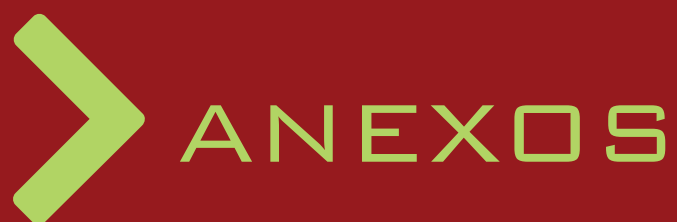
Lo anterior implica que los diferentes actores del sistema agroalimentario de la quinua desde sus responsabilidades impulsen:

- a) El monitoreo del comportamiento de los mercados, especialmente del mercado internacional, con el fin de prever los desequilibrios entre la oferta y la demanda que tienen un efecto negativo en los precios;
- b) Políticas públicas generando las condiciones necesarias para el comercio justo y la distribución equitativa de beneficios a los agricultores y organizaciones locales;
- c) Políticas públicas para promover una producción sostenible de la quinua, y de los agroecosistemas donde se produce, en conjunto al fortalecimiento del sistema alimentario;
- d) Políticas de inclusión social para que la quinua sirva al desarrollo territorial e impulse el reconocimiento de otros granos andinos;
- e) El monitoreo de la dinámica de expansión de la superficie cultivada

a nivel mundial y su impacto en la dinámica de la biodiversidad debido a los modelos agrícolas elegidos;

- f) La creación e implementación de instrumentos internacionales y nacionales para la protección, el uso sostenible y el intercambio de germoplasma y semillas de quinua;
- g) El fortalecimiento de redes de investigación para seguir generando y compartiendo información sobre la investigación de la quinua en varios idiomas para zonas geográficas e/o temáticas que lo necesitan.

Esperamos que este libro se constituya en una herramienta que promueva el desarrollo de programas y proyectos de quinua inclusivos, respetuosos, responsables y éticos en el mundo y que puedan hacer una diferencia real en la lucha contra el hambre y la pobreza, reconociendo y valorando los conocimientos y prácticas tradicionales de los pueblos indígenas de la zona andina, que han mantenido y preservado la biodiversidad de la quinua a través de generaciones.





## ANEXOS:

### Capítulo 1.5: Estado de la conservación ex situ de los recursos genéticos de quinua.

**Anexo 1.** Detalle de países e instituciones en el mundo que conservan colecciones ex situ de quinua (*Chenopodium quinoa*, *C. album*, *C. berlandieri*, *C. hircinum*, *C. petiolare*, *C. murale* y *Chenopodium* sp.).

Nº	Países	Número total de accesiones	Código WIEWS	Institución	Acrónimo	Accesiones por Institución
1	Bolivia	6721	BOL138	Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - INIAF	BNGA	3178
			BOL094	Facultad de Agronomía UMSA	FA-UMSA	1370*
			BOL100	Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Veterinaria	FCAP-UTO	1780
			BOL318	Unidad Académica Campesina Tiahuanacu – Universidad Católica Boliviana San Pablo	UACT-UCB	257*
			BOL319	Carrera de Ingeniería Agronómica – Universidad Pública de El Alto	CIA-UPEA	136*
			BOL107	Centro de Investigación y Producción Comunal IRPANI	CIPROCOMI	262
2	Perú	6302	PER859	Estación Experimental Agraria Illpa, Banco Base Quinoa	INIA-BB Quinoa	1910
			PER014	Estación Experimental Agraria Illpa	INIA-EEA.ILL	789
			PER030	Estación Experimental Agraria Andenes	INIA-EEA.A	700
			PER012	Estación Experimental Agraria Baños del Inca	INIA-EEA.BI.	235
			PER041	Estación Experimental Canaán	INIA-EEC	123
			PER029	Estación Experimental Agraria Santa Ana	INIA-EEA.SA.	63
			PER002	Universidad Nacional Agraria La Molina	UNALM	2089
			PER007	Universidad Nacional del Altiplano	UNA	1873
			PER027	Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco	UNSAAC/CICA	430
3	Ecuador	673	ECU023	Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología	DENAREF	673

4	Argentina	492	ARG1191; ARG1342	Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires; Banco Base de Germoplasma, Instituto de Recursos Biológicos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria	UBA-FA; BBC- INTA	492
			ARG1349	Banco Activo de Germoplasma del Noroeste Argentino (NOA)	BGNOA	40
			ARG1350	Banco Activo de Germoplasma de La Consulta	BGLACONSULTA	15
5	Chile	286	CHL028	Banco Base INIA Intihuasi	INIA INTIH	203
			CHL004	Centro Regional de Investigación INIA Carillanca	INIA CARI	84
			CHL003	Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Austral de Chile	IPSV - UACH	15
			CHL142	Universidad Arturo Prat de Iquique	UNAP	31
			CHL006	Ingrid Van Baer de Temuco		91
6	Colombia	28	COL029	Centro de Investigación de La Selva, Corporación Colombiana de Investigación	CORPOICA	28
7	Alemania	987	DEU146	Genebank, Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research	IPK	984
			DEU109	Greenhouse for Tropical Crops, Institute for Production and Nutrition of World Crops, Kassel University	GHK	3
8	India	294	IND001	National Bureau of Plant Genetic Resources	NBPGR	193
			IND032	Regional Station Shimla, NBPGR	NBPGR	98
			IND414	CSK HP Krishi Vishvavidyalaya, Palampur	CSK HPKV	3
9	Estados Unidos	229	USA020	North Central Regional Plant Introduction Station, USDA-ARS, NCRPIS	NC7	229
10	Japón	191	JPN003	Department of Genetic Resources I, National Institute of Agrobiological Sciences	NIAS	191
11	Reino Unido	65	GBR016	Genetic Resources Unit, Institute of Biological, Environmental & Rural Sciences, Aberystwyth University	IBERS-GRU	23
			GBR004	Millennium Seed Bank Project, Seed Conservation Department, Royal Botanic Gardens, Kew, Wakehurst Place	RBG	42

12	Australia	36	AUS048	Australian Tropical Crops & Forages Genetic Resources Centre	ATCFC	27
			AUS006	Australian Medicago Genetic Resources Centre, South Australian Research and Development Institute	AMGRC	9
13	Etiopia	20	ETH013	International Livestock Research Institute	ILRI-Ethiopia	20
14	África del Sur	19	ZAF001	Division of Plant and Seed Control, Department of Agriculture, Technical Service	PREPSC	5
			ZAF064	RSA Plant Genetic Resources Centre	PGRC	14
15	Hungría	17	HUN003	Institute for Agrobotany	RCA	17
16	Eslovaquia	15	SVK001	Plant Production Research Center Piestany	SVKPIEST	15
17	España	9	ESP003	Comunidad de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Banco de Germoplasma	UPM-BGV	7
			ESP004	Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos	INIA-CRF	1
			ESP109	Junta de Castilla y León. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Centro de Investigación de Zamadueñas	ITACYL	1
18	Kenia	6	KEN015	National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre - Muguga	KARI-NGBK	6
19	Canadá	5	CAN004	Plant Gene Resources of Canada, Saskatoon Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada	PGRC	5
20	Austria	5	AUT001	AGES Linz - Austrian Agency for Health and Food Safety / Seed Collection	BVAL	3
			AUT025	Office of the Styrian Regional Government, Department for Plant Health and Special Crops	WIEWS	2
21	Portugal	4	PRT102	Banco de Germoplasma - Universidade da Madeira	ISOPlexis	3
			PRT018	Departamento de Botânica e Engenharia Biológica, Instituto Superior de Agronomia	ISA	1
22	Republica Checa	3	CZE122	Genebank Department, Division of Genetics and Plant Breeding, Research Institute of Crop Production	RICP	3
23	Uruguay	3	URY003	INIA La Estanzuela	INIA LE	3

24	Zambia	3	ZMB030	SADC Plant Genetic Resources Centre	SRGB	3
25	Turquía	3	TUR001	Plant Genetic Resources Department	AARI	3
26	Lesoto	2	LSO002	Department of Agricultural Research		2
27	Brasil	1	BRA003	Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnología	CENARGEN	1
28	Suecia	1	SWE054	Nordic Genetic Resource Center	NORDGEN	1
29	Romania	1	ROM007	Suceava Genebank	BRGV	1
30	Jordania	1	JOR006	National Centre for Agricultural Research and Technology Transfer	NCARTT	1
TOTAL		16422	59 bancos			18787

Fuente: Elaboración con información de WIEWS 2013 y la colaboración de expertos que trabajan con colecciones ex situ de quinua

\* Datos reportados directamente por la institución correspondiente y no reflejados en WIEWS







Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

Oficina Regional de la FAO  
para América Latina y el  
Caribe  
Av. Dag Hammarskjold 3241,  
Vitacura, Santiago de Chile  
[www.fao.org](http://www.fao.org)



Centre de coopération  
internationale en recherche  
agronomique pour le  
développement  
CIRAD-ES ; TA C-47/F  
Campus International de  
Baillarguet  
34398 Montpellier Cedex 5 –  
France  
[www.cirad.fr](http://www.cirad.fr)



Andean Naturals, Inc.  
393 Catamaran St, Foster City,  
CA 94404, Estados Unidos  
[www.andeannaturals.com](http://www.andeannaturals.com)