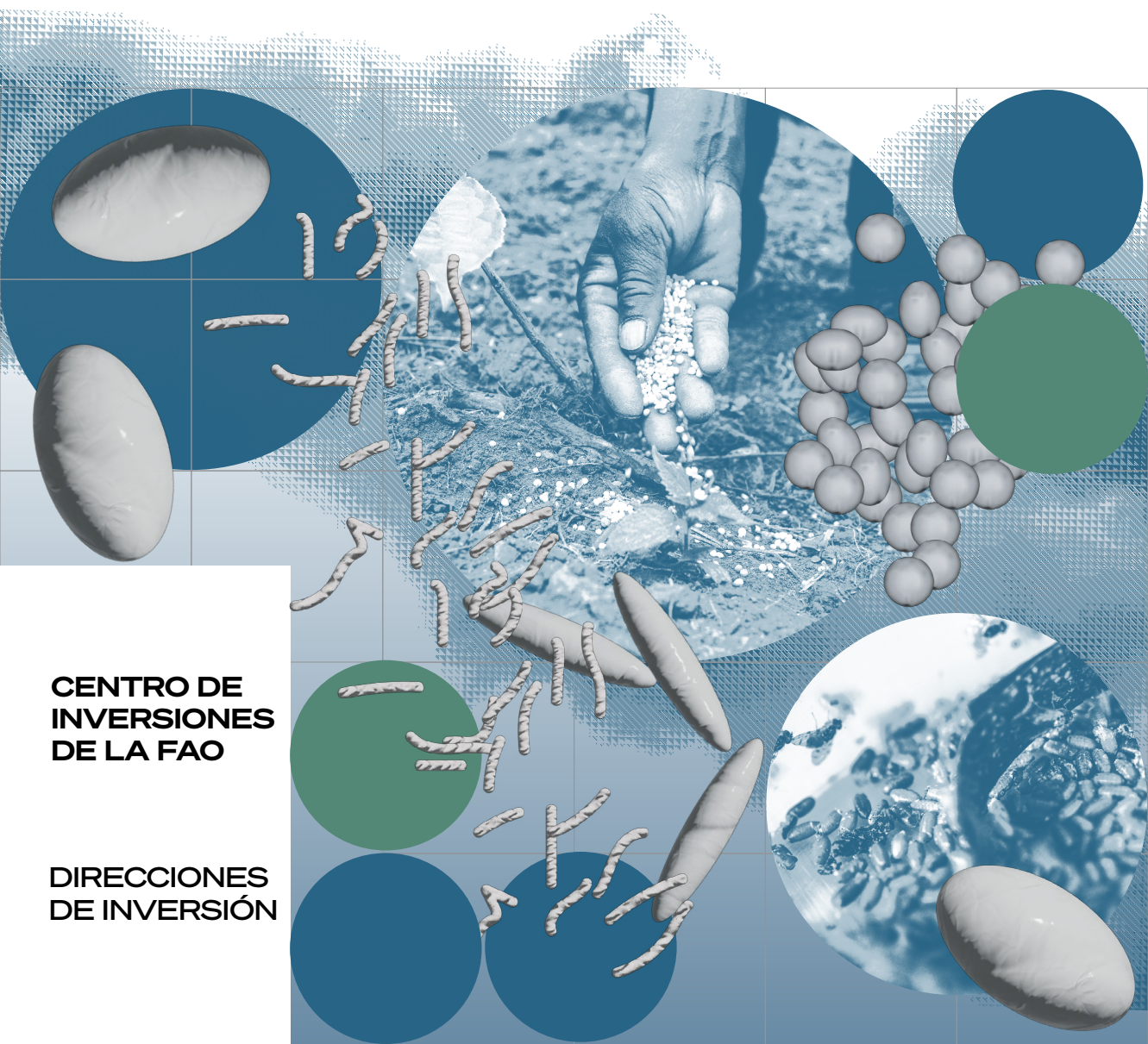




Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

BIOINSUMOS OPORTUNIDADES DE INVERSIÓN EN AMÉRICA LATINA



**CENTRO DE
INVERSIONES
DE LA FAO**

**DIRECCIONES
DE INVERSIÓN**





BIOINSUMOS

OPORTUNIDADES DE INVERSIÓN EN AMÉRICA LATINA

Leandro Bullor
Hernán Braude
Jesica Monzón
Alba Marina Cotes Prado
Valeria Casavola
Nallely Carbajal Morón
Jean Risopoulos

Cita requerida:

Bullor, L., Braude, H., Monzón, J., Cotes Prado, A. M., Casavola, V., Carbajal Morón, N. y Risopoulos, J. 2023. *Bioinsumos: Oportunidades de inversión en América Latina - Direcciones de inversión* No. 9. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc9060es>

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, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. Las líneas discontinuas en los mapas representan fronteras aproximadas respecto de las cuales puede que no haya todavía pleno acuerdo. 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 978-92-5-138459-6

© FAO, 2023



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO); <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>.

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: "La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en [idioma] será el texto autorizado".

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: copyright@fao.org.

Fotografías de portada:

©Pexels/Anthony Trivet

©FAO/Alessandra Benedetti

Índice

Agradecimientos	IX
Abreviaciones y acrónimos	X

INTRODUCCIÓN	1
---------------------	----------

CAPÍTULO 1

Los bioinsumos y su cadena de valor	7
--	----------

1.1 Definición y clasificación	7
1.2 Frontera y brechas de conocimiento científico-tecnológico	10
1.3 Tipologías de cadena de valor	11

CAPÍTULO 2

Beneficios y riesgos de la adopción de bioinsumos agrícolas	19
--	-----------

2.1 Beneficios e impacto potencial	19
2.2 Riesgos y desafíos	30

CAPÍTULO 3

Mercado y estrategias privadas	35
---------------------------------------	-----------

3.1 El mercado de bioinsumos	35
-------------------------------------	-----------

3.1.1 El mercado de bioinsumos en América Latina	40
--	----

3.2 El mercado de bioinsumos	44
-------------------------------------	-----------

3.2.1 La adopción de bioinsumos: motivaciones y limitaciones	44
3.2.2 Estrategias de desarrollo y producción de bioinsumos	48

CAPÍTULO 4

Políticas públicas para regular y promover la adopción y el desarrollo de bioinsumos agrícolas	55
---	-----------

4.1 Regulación	56
-----------------------	-----------

4.1.1 Acceso a los recursos genéticos y participación de los beneficios derivados de su uso	56
4.1.2 Patentabilidad	58
4.1.3 Registro	59
4.1.4 Autoproducción	62

4.2 Estrategias, planes y programas de nivel nacional	64
--	-----------

4.3 Los institutos nacionales de tecnología agropecuaria	69
---	-----------

4.4 Iniciativas sobre bioinsumos con financiamiento internacional	72
--	-----------

CAPÍTULO 5		
Orientaciones para la promoción de inversiones en bioinsumos		77
5.1 Orientaciones para el diálogo de políticas y la construcción de entornos habilitantes		79
5.2 Orientaciones para el diseño de programas y proyectos de inversión pública		80
5.2.1	Lineamientos generales para la definición de actividades	80
5.2.2	Lineamientos generales para monitoreo y evaluación y gestión del conocimiento	81
5.2.3	Orientaciones para reducir el riesgo de la inversión privada en bioinsumos	81
ANEXO 1		
Entrevistas realizadas		97
ANEXO 2		
Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe		99
ANEXO 3		
Definiciones de bioinsumos y equivalentes		94
ANEXO 4		
Evidencia científica sobre el impacto del uso de bioinsumos		103
ANEXO 5		
Adquisiciones y fusiones entre grandes compañías agroquímicas y empresas productoras de bioinsumos		129
ANEXO 6		
Proyectos apoyados por las principales instituciones financieras internacionales en el área de bioinsumos actualmente en curso en América Latina y el Caribe		130
ANEXO 7		
Problemáticas e intervenciones sugeridas para la promoción de la adopción y desarrollo de bioinsumos		136

ANEXO 8

Indicadores de producto, de resultado y estratégicos para programas y proyectos vinculados a la promoción de bioinsumos

138

REFERENCIAS

85

GLOSARIO

145

Cuadros, figuras y gráficos

CUADROS

1	Tipologías de inversión por tipo de cadena de valor	16
2	Principales beneficios derivados del uso de bioinsumos y volumen de evidencia científica disponible	21
3	Riesgos de contaminación, por tipología de cadena de valor y por tipo de producto	31
4	Tipo de bioinsumo producido según tipo de actor (en porcentaje del total de respuestas brindada por cada tipo de actor)	37
5	Bioinsumos registrados, empresas productoras y cultivos tratados en países seleccionados de América Latina	42
6	Principales motivos para la adopción de bioinsumos (porcentaje de respondientes que consideraron el motivo “importante” o “muy importante”)	45
7	Factores que dificultan la incorporación de bioinsumos, desde la perspectiva de quienes los adoptan (porcentaje de respondientes que consideraron el factor como “importante” o “muy importante”)	46
8	Factores que dificultan la incorporación de bioinsumos, desde la perspectiva de las y los oferentes (porcentaje de respondientes que consideraron el factor como “importante” o “muy importante”)	47
9	Factores que dificultan el desarrollo, producción y comercialización de bioinsumos, desde la perspectiva de las y los oferentes (porcentaje de respondientes que consideraron el factor como “importante” o “muy importante”)	51
10	Síntesis de aspectos regulatorios en algunos países de la región	63
11	Proyectos regionales con actividades específicas de bioinsumos de financiamiento internacional	74
12	Organizaciones entrevistadas	97
13	Cantidad de respondientes de la encuesta por perfil de respondiente	99
14	Definiciones de bioinsumos en distintas partes del mundo	100
15	Efecto de biofertilizantes utilizados en diferentes países de Latinoamérica	103
16	Efectos de diferentes microorganismos biocontroladores utilizados para el control de enfermedades en América Latina	105
17	Respaldo científico de los diferentes impactos del uso de bioinsumos	108
18	Base de datos relacionada con diferentes categorías de cultivos, zonas climáticas e insumos de nutrientes	112
19	Base de datos en relación con las zonas climáticas y los aportes de nutrientes	113
20	Especies de bacterias, habilidades, condiciones del experimento y resultados promovidos por la aplicación de muchas rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de maíz	114
21	Especies de bacterias, habilidades, condiciones del experimento y resultados promovidos por la aplicación de muchas rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en caña de azúcar	115

22	Resumen de los efectos informados de las sustancias húmicas/ bioestimulantes sobre el crecimiento de las plantas, la absorción de nutrientes y la fisiología de la planta	116
23	Adquisiciones y fusiones entre grandes compañías agroquímicas y empresas productoras de bioinsumos	129
24	Proyectos adoptados por las principales IFI en el área de bioinsumos en América Latina y el Caribe	130
25	Problemáticas e intervenciones sugeridas en el diseño de los programas y proyectos para la promoción de la adopción y desarrollo de bioinsumos, según los actores relevantes	136
26	Indicadores de producto, de resultado y estratégicos para proyectos vinculados a la promoción de bioinsumos	138

FIGURAS

1	Clasificación de los bioinsumos agrícolas por función	8
2	Principales hitos en el desarrollo de bioplaguicidas y biofertilizantes microbiales	9
3	Grado de complejidad tecnoproductiva según tipo de cadena de valor	11
4	Cadena de valor de bioinsumos de la tipología 1	12
5	Cadena de valor de bioinsumos de la tipología 2	13
6	Cadena de valor de bioinsumos de la tipología 3	14
7	Países que utilizan un exceso de fertilizantes con nitrógeno sin tener ganancias en los rendimientos de sus cultivos	24
8	Beneficios de los bioinsumos	29
9	Planes Nacionales de Desarrollo en América Latina y el Caribe según mencionen o no a los bioinsumos	64
10	Países con proyectos activos al segundo semestre 2023, con actividades y abordajes específicos sobre bioinsumos y financiamiento internacional	73
11	Abordaje estratégico y áreas de impacto potencial	78
12	Mapa que muestra el origen del estudio y su clasificación en función del clima, se excluyen los estudios de tomate en invernadero	112

GRÁFICOS

1	Resultados cruzados por disminución de uso de fertilizantes sintéticos de N por aumento en rendimiento y por aumento en fijación de nitrógeno	25
2	Percepción de los beneficios del uso de bioinsumos según quienes los adoptan	28
3	Mercado mundial de bioinsumos. Distribución del valor de las ventas (en porcentaje) según tipo de producto, 2021	36
4	Mercado mundial de bioestimulantes y biofertilizantes. Distribución del valor de las ventas (en USD) según tipo de cultivo, 2020	38

5	Mercado mundial de bioplaguicidas. Distribución del valor de las ventas (en USD) según tipo de cultivo, 2020	39
6	Mercado de bioinsumos América Latina. Evolución del valor de las ventas (en millones de USD) según producto, 2017-2021	40
7	Registro de insumos de bajo impacto en el Brasil, 2000-2021	44
8	Principales fuentes de aprovisionamiento de bioinsumos que utilizan las y los adoptantes en América Latina y el Caribe	49

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en estrecha colaboración con la Oficina Regional de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para América Latina y el Caribe. Agradecemos especialmente a Ana Posas Guevara, Oficial de Agricultura de la Oficina Regional de la FAO, por liderar la coordinación con la agenda de prioridades de la región, y a Ruth Martínez, Javiera Suárez y Rafael España, quienes ayudaron con la revisión y difusión. También agradecemos a Jorge Samaniego (FAO-CFIF), Rikke Olivera Grand (FIDA-PMI) y Teodoro Calles (FAO-NSP), quienes revisaron este estudio; y a los técnicos y expertos de la FAO y de la plataforma regional de bioinsumos que participaron en las presentaciones preliminares del estudio: desde los técnicos de las oficinas país de FAO en la región, los expertos del grupo de Agroecología de la FAO, y los colegas de la plataforma regional de bioinsumos (BID, IICA, FONTAGRO). Por último, agradecemos los aportes de Malena Nigro, Lucas Sasso, Alejandra Alderete y Julián Barbella.

Abreviaciones y acrónimos

ADPIC	Acuerdo de la OMC sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio
ADR	Agencia de Desarrollo Rural de Colombia
AMT	Agri Marine Terra S. A.
ANATER	Agencia Nacional de Asistencia Técnica y Extensión Rural de Brasil
APROZONOC	Asociación de Productores Orgánicos de la Zona Norte de Cartago de Costa Rica
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BM	Banco Mundial
BMZ	Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo
FBN	Fijación biológica de nitrógeno
BPA	Buenas prácticas agrícolas
CABIO	Cámara Argentina de Bioinsumos
CABUA	Comité Asesor en Bioinsumos de Uso Agropecuario de Argentina
CCIA	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
CDB	Convenio sobre la Diversidad Biológica
CENSA	Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria de Cuba
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CGen	Consejo de Gestión del Patrimonio Genético de Brasil
COFEMA	Consejo Federal de Medio Ambiente de Argentina
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social de Colombia
CREE	Centros de reproducción de entomófagos y entomopatógenos
CSICAP	Iniciativas climáticamente inteligentes para la adaptación al cambio climático y la sostenibilidad en sistemas productivos agrícolas priorizados en Colombia
EBCT	Empresa con base científico-tecnológica
EMBRAPA	Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria
EMBRAPII	Empresa Brasileña de Investigación e Innovación Industrial
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FAPED	Fundación de Apoyo a la Investigación y el Desarrollo en Brasil
FAPESP	Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de San Pablo
FIA	Fundación para la Innovación Agraria
FIDA	Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola
GBG	Gusano barrenador del ganado
GCF	Fondo Verde para el Clima
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEI	Gases de efecto invernadero
GIZ	Sociedad Alemana de Cooperación Internacional
I+D	Investigación y desarrollo
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario

IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
IMyZA	Instituto de Investigación Microbiología y Zoología Agrícola de Argentina
INA	Instituto Nacional de Aprendizaje de Costa Rica
INCA	Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba
INIA Chile	Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile
INIA Uruguay	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina
LMR	Límites máximos de residuos
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica
MAGyP	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina
MAP	Manejo agroecológico de plagas
MAPA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento de Brasil
MIP	Manejo integrado de plagas
miPyMEs	Micro, pequeñas y medianas empresas
MRL	Nivel de madurez de la manufactura
MSP	Ministerio de Salud Pública de Uruguay
mVOC	Compuestos orgánicos volátiles microbianos (por su sigla en inglés, microbial volatile organic compounds)
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ODS	Objetivos para el Desarrollo Sostenible
OMC	Organización Mundial del Comercio
PIA	Proyectos de innovación agraria
PNB	Programa Nacional para el Desarrollo de Bioinsumos de Brasil
PNCCSA	Plan Nacional de Cambio Climático para el Sector Agropecuario de Panamá
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
POP	Contaminantes orgánicos persistentes
PpB	Programa Producción para el Bienestar de México
PROBIAAR	Programa de Bioinsumos Agropecuarios Argentinos
PRODECAFE	Proyecto de Desarrollo Cooperativo Agroforestal
PyMEs	pequeñas y medianas empresas
REDAPRODARE	Red de Asociaciones y Productores para el Desarrollo Agroecológico y la Recuperación de Ecosistemas de El Salvador
SAGYP	Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina
SENASA	Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria de Argentina
SFE	Servicio Fitosanitario del Estado de Costa Rica
SPG	Sistema participativo de garantía
TIE	Técnica del insecto estéril
TGN	Tesoro General de la Nación del Estado Plurinacional de Bolivia
TRL	Niveles de madurez tecnológica
UE	Unión Europea
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América

Fórmulas químicas

Cd	Cadmio
CO ₂	Dióxido de carbono
CO _{2eq}	Dióxido de carbono equivalente
N	Nitrógeno
N ₂	Nitrógeno molecular o dinitrógeno
N ₂ O	Óxido nitroso
NO ₃	Nitrato
P	Fósforo







Introducción

América Latina y el Caribe es un territorio clave para la seguridad alimentaria y la preservación de la biodiversidad en el mundo. La región produce alimentos para cerca de 1300 millones de personas —más del doble de su población—, contiene el 50 % de la biodiversidad del planeta (FAO, 2021) y alberga a seis de los países con mayor biodiversidad del mundo: el Brasil, Colombia, el Ecuador, México, el Perú y la República Bolivariana de Venezuela.

Sin embargo, la región enfrenta numerosos y grandes desafíos en la materia, entre los que se pueden mencionar contar con el mayor número de especies alimentarias silvestres amenazadas, 200 millones de hectáreas de tierras degradadas, que en la mitad de los suelos agrícolas existe algún grado de erosión y un creciente uso de agroquímicos (FAO, 2019, 2021).

Si bien la producción agrícola mundial se apoya en un uso intensivo de agroquímicos, según cifras de 2019, al menos nueve países de América Latina duplican o triplican la cantidad de kilogramos de plaguicidas por hectárea utilizada por países como los Estados Unidos y Canadá (FAO, 2022a). A su vez, el aumento de temperaturas producto del cambio climático acelera la forma en que las plagas se reproducen, lo que genera una mayor presión sobre la resiliencia de los sistemas de producción de la región.

Aunque la comercialización de agroquímicos desde mediados del siglo XX ha permitido un incremento sin precedentes de la productividad agrícola en el mundo (Martínez-Dalmau *et al.*, 2021), la aplicación excesiva de estos agroinsumos convencionales trae aparejadas externalidades negativas, tales como como la degradación de los suelos (Zhang *et al.*, 2020; Wu *et al.* 2020), la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (Hickman *et al.*, 2021), la contaminación de cuerpos de agua (Martínez-Dalmau *et al.*, 2021) e impactos negativos sobre la fauna silvestre (Tosi *et al.*, 2022; Köhler *et al.*, 2013; Story y Wildl, 2001) y la salud de las personas (Kim *et al.*, 2017; Sarwar, 2015).

La disminución de la biodiversidad, incluso la agrobiodiversidad, supone un grave riesgo para la seguridad alimentaria, en tanto merma la resiliencia de los sistemas agrícolas a amenazas como las plagas, los patógenos y el cambio climático; además de implicar la pérdida de especies para la polinización que podrían contribuir a los sistemas agroalimentarios (Sarandón, 2020; PNUMA, 2016). La pérdida de biodiversidad afecta también la salud del suelo, que depende de la actividad de los microorganismos que habitan en él (Tahat *et al.*, 2020; Leskovar *et al.*, 2016; Wagg *et al.*, 2014; Doran y Zeiss, 2000).

Debido a los efectos nocivos de los agroquímicos sobre el medio ambiente y la salud humana (en particular, de los plaguicidas), amén de una mayor concientización pública sobre dichos efectos, la demanda de seguridad y calidad alimentaria ha aumentado en las últimas décadas. Cada vez son más las regiones y países —como la Unión Europea (UE), Estados Unidos y China— que han impuesto normas de seguridad más estrictas sobre las importaciones de productos agrícolas y los límites permitidos de residuos de plaguicidas en dichos productos.

En particular, el Pacto Verde (2019) y la estrategia De la Granja a la Mesa (2020) —adoptados por la UE en respuesta a los desafíos provocados por el cambio climático y la pérdida de la biodiversidad— prevén una transformación de la cadena agroalimentaria. Esta incluye una drástica reducción sobre los límites permitidos de residuos de plaguicidas en los productos alimenticios, estableciéndose, en muchos casos, la prohibición de ciertos plaguicidas de uso

habitual, por ejemplo, en la producción de café, cacao, banano, aguacate y frutas en algunos territorios de América Latina y el Caribe (Orozco, 2022).

De este modo, para la región, el mantenimiento del esquema tradicional, basado en el uso predominante de agroquímicos, supone un riesgo creciente de pérdida de mercados de destino de sus exportaciones agrícolas. Se trata de un desafío económico de gran magnitud, dado que los diversos sectores agroalimentarios de América Latina y Caribe contribuyen con una cuarta parte del total de exportaciones de la región (CEPAL, FAO e IICA, 2021).

En este contexto, la búsqueda de alternativas al paquete tecnológico tradicional se ha convertido en una prioridad mundial (Damalas y Koutroubas, 2018), que se tornó aún más acuciante debido al aumento en el precio y dificultad para acceder a fertilizantes químicos a raíz de la guerra en Ucrania.

En una transición hacia sistemas agroalimentarios sostenibles, que permitan alimentar a una población cada vez mayor y preservar la biodiversidad y la salud del suelo y de las personas, los bioinsumos juegan un rol importante. En el marco de este estudio, los bioinsumos son aquellos productos de origen vegetal, animal o microbiano capaces de mejorar la productividad, la calidad y/o la sanidad de los cultivos vegetales. Los bioinsumos pueden tener un impacto directo sobre los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el Objetivo 12 (Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles) y el 15 (Vida de ecosistemas terrestres, que incluye gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad), y también en el Objetivo 2 (Hambre 0) y el Objetivo 13 (Acción por el Clima).

Los bioinsumos todavía representan un porcentaje menor del mercado de insumos para la agricultura, pero su uso se ha acelerado en los últimos años, en particular en América Latina y el Caribe. Según estimaciones basadas en Mordor Intelligence (2020, 2022), el mercado de bioinsumos en la región ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos cinco años, estimado en torno al 15 % promedio anual.

Desde el punto de vista macroeconómico, se estima que América Latina gastó alrededor de 42000 millones de dólares estadounidenses (en adelante, USD) en agroquímicos durante 2021, representando el 17 % del mercado mundial (Meticulous Research, 2023). Ahora bien, gran parte de esos insumos son importados. En 2021, se importaron agroquímicos por una cifra cercana a los 34000 millones de USD, el 90 % de países de fuera de la región. América Latina y el Caribe, que da cuenta de un cuarto de las importaciones de agroquímicos en el mundo, destinó aproximadamente el 12 % del valor exportado en agroalimentos a importaciones de agroquímicos (elaboración propia en base a datos de COMTRADE, 2023).

Desde el punto de vista microeconómico, los agroquímicos tienen un peso importante en los costos de producción del sector. Según el Consejo Nacional de Política Económica y Social de Colombia (CONPES, 2009), los insumos son el mayor costo para quienes se dedican a la agricultura: plaguicidas y fertilizantes pueden llegar a constituir el 35 % del costo total de la producción.

Los bioinsumos, entonces, no solo representan una oportunidad para valorizar la biodiversidad, sino también para promover una mayor descentralización de las cadenas agrícolas y la generación de eslabonamientos (renta y empleo) a nivel local, manteniendo o incrementando la productividad agrícola, mejorando así la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios.

Este documento pretende servir de insumo para las personas tomadoras de decisiones en inversiones públicas y privadas en agricultura, para quienes brindan apoyo técnico a las inversiones para gobiernos e instituciones financieras

internacionales (IFI) y para quienes se dedican al diseño de políticas agrícolas. Con este fin, se analiza el desarrollo, producción y adopción de bioinsumos en América Latina y el Caribe, prestando particular atención a las oportunidades de inversión, el impacto potencial de adoptarlas y al rol que juegan distintos tipos de actores públicos y privados que invierten en este mercado, así como a los obstáculos existentes para su despliegue. El informe ofrece algunas pistas para entender a la región en su conjunto y servir de hoja de ruta para el diseño, implementación, monitoreo y evaluación de proyectos, programas y estrategias destinados a impulsar el desarrollo y la adopción de bioinsumos agrícolas.

El informe fue elaborado recurriendo, en primer lugar, a bibliografía especializada, normativa de países selectos, sitios web de organismos gubernamentales, documentos oficiales de políticas, programas y proyectos estatales y de cooperación internacional, entre otra documentación.

También se realizó un trabajo de campo que incluyó, por un lado, 34 entrevistas en profundidad a referentes de empresas agrícolas y de bioinsumos, instituciones de investigación y desarrollo (I+D) y organismos gubernamentales de 11 países de la región.¹ Por otro lado, se diseñó y aplicó una encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe, de la cual participaron 971 personas de 22 países.² La encuesta fue aplicada a través de la web a una muestra intencional integrada por distintos tipos de perfiles: productores/as agrícolas individuales, cooperativas o asociaciones agrícolas, empresas agrícolas, profesionales que se dedican al asesoramiento técnico-agrícola, empresas y otras organizaciones que desarrollan o producen bioinsumos (centros de I+D, organizaciones gubernamentales, organizaciones sin fines de lucro).³

El informe se estructura en cuatro capítulos. El primero es de carácter introductorio. Allí se explicita la definición del término “bioinsumos” empleada en este documento y se presenta una clasificación de estos agroinsumos. También se repasan las actuales brechas de conocimiento científico-tecnológico asociadas a bioinsumos y se describen distintas tipologías de la cadena de valor de estos productos.

En el capítulo 2 se analizan los beneficios y los posibles riesgos de la adopción de bioinsumos. Esto incluye una caracterización del grado de conocimiento existente sobre el impacto asociado al uso de los bioinsumos, en términos ambientales, económicos y sanitarios.

El capítulo 3 describe el mercado de bioinsumos en América Latina y el Caribe y el mundo. Luego de esta descripción panorámica, se pone el foco en las estrategias que siguen distintos tipos de actores privados para el desarrollo, producción y comercialización de los bioinsumos.

El capítulo 4, en cambio, se centra en los actores gubernamentales y en las instituciones financieras internacionales. Allí se describen las formas en que los Estados actualmente regulan el desarrollo, producción y adopción de bioinsumos, y se analizan las iniciativas destinadas a su fomento.

Por último, se presentan las conclusiones y se proponen lineamientos y recomendaciones para el diseño, implementación, monitoreo y evaluación de proyectos, programas y estrategias destinadas a impulsar el desarrollo, la producción y la adopción de bioinsumos.

1 En el Anexo 1 se puede encontrar un listado detallado de las personas entrevistadas.

2 504 personas completaron la encuesta en su totalidad y 467 lo hicieron parcialmente.

3 En el Anexo 2 se ofrecen mayores detalles sobre la aplicación de la encuesta y los perfiles de las personas participantes.







Capítulo 1

Los bioinsumos y su cadena de valor

El desarrollo y la utilización de bioinsumos en la agricultura no constituye en modo alguno una novedad reciente. No obstante, nuevas herramientas tecnológicas y el avance en ciertas áreas del conocimiento permitieron ampliar la variedad de su oferta en las últimas décadas.

En este capítulo introductorio se ofrecen algunas pistas para comprender las particularidades de los bioinsumos y de su proceso de producción. El capítulo se compone de tres secciones. La primera ofrece una definición del término “bioinsumos” y una clasificación de estos. La segunda se detiene en los que hoy en día constituyen desarrollos de frontera en el campo de los bioinsumos. Por último, el tercer apartado presenta tres tipologías de la cadena de valor de los bioinsumos, según el grado de complejidad de su producción y las capacidades necesarias para tal fin.

1.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

No hay una definición consensuada para el término “bioinsumos”; existe una gran heterogeneidad en el uso que hacen de este término normativas, documentos oficiales y artículos académicos.⁴

En este trabajo se entiende por bioinsumo a **todo producto de origen vegetal, animal o microbiano capaz de mejorar la productividad, la calidad o la sanidad de los cultivos vegetales**. Esta definición incluye a insumos que tienen un efecto directo sobre los cultivos, ya sea mejorando la eficiencia nutricional de las plantas, promoviendo el crecimiento o desarrollo vegetal, combatiendo directa o indirectamente una plaga o disminuyendo los efectos negativos de todo tipo de estrés biótico o abiótico sobre los cultivos; así como a aquellos productos que mejoran las propiedades del suelo o del agua y los que se utilizan para el tratamiento de subproductos agropecuarios.

A la hora de clasificar a los bioinsumos, entran en juego diversas variables. La primera es el tipo de principio activo, que permite distinguir entre bioinsumos microbianos, botánicos, semioquímicos e invertebrados, entre otros. La segunda es la funcionalidad, que diferencia bioplaguicidas, biofertilizantes, bioestimulantes y biorestauradores del suelo, entre otros (ver Figura 1).

⁴ El Anexo 3 incluye un listado de definiciones utilizadas en fuentes relevadas para la elaboración de este informe.

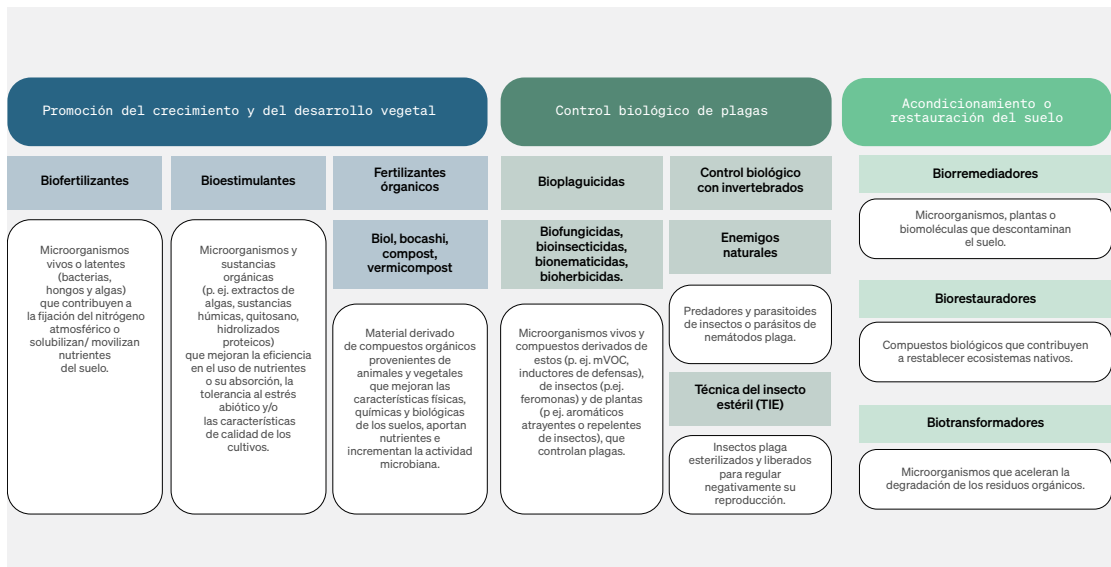


Figura 1
Clasificación de los bioinsumos agrícolas por función

FUENTE: elaboración propia.

A pesar del gran potencial que tienen las diferentes categorías de bioinsumos, los biofertilizantes y bioplaguicidas microbianos son los que cuentan con una historia más extensa de uso a gran escala, potencial de aplicación y versatilidad en su actividad. En efecto, desde la década de 1930, en el caso de los primeros, y de 1960, en el de los bioplaguicidas, hay antecedentes de difusión masiva de estos productos (ver Figura 2). En América Latina y el Caribe, los hitos decisivos en la producción de bioplaguicidas se dieron en la década de 1970, cuando en el Brasil se aisló un nucleopoliedrovirus de *Anticarsia gemmatalis* (Allen y Knell, 1977; Carner y Turnipseed, 1977).

Los biofertilizantes tienen potencial de uso para todo tipo de cultivos, como leguminosas, gramíneas y forestales. Por su parte, los bioplaguicidas microbianos, además de poder aplicarse en todo tipo de cultivos, en conjunto tienen gran espectro de funciones,⁵ al servir para el control de artrópodos, fitopatógenos (hongos, oomycetes, bacterias, protistas parásitos de plantas, nemátodos y virus) y arvenses.

⁵ En general, los bioplaguicidas, individualmente, tienen un rango de acción acotado, es decir, son específicos para un grupo reducido de plagas o fitopatógenos. Sin embargo, en su conjunto, aplican para un amplio espectro de plagas y fitopatógenos.

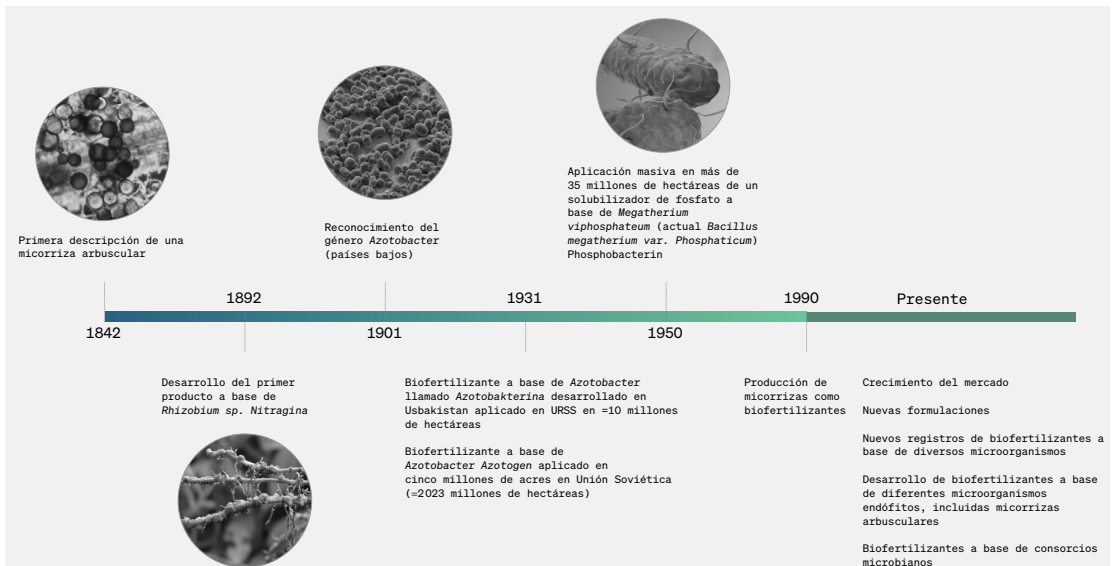
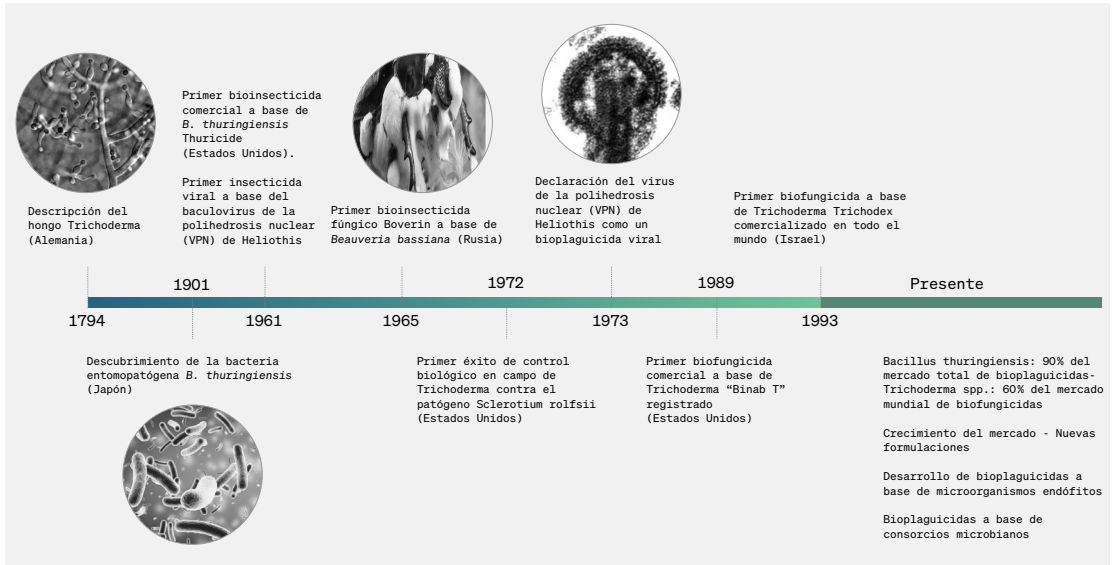


Figura 2
Principales hitos en el desarrollo de bioplaguicidas y biofertilizantes microbiales

FUENTE: elaboración propia.

1.2. FRONTERA Y BRECHAS DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO

En las últimas décadas, gracias a los avances en técnicas bioquímicas, de biología molecular, de adaptación de cepas en laboratorio, de producción masiva y de formulación, se ha desarrollado una amplia oferta de bioinsumos con diversas funciones y niveles de adaptabilidad. Además, tecnologías desarrolladas más recientemente (multiómicas), permiten identificar un gran número de determinado tipo de moléculas (proteínas, genomas, metabolitos, etc.) a partir de muestras biológicas,⁶ a diferencia de las tecnologías tradicionales, que solo permiten trabajar con un genoma específico en cada análisis. Este desarrollo no solo ha mejorado la comprensión de la complejidad de los microbiomas (Kaul *et al.*, 2016), sino que también ha resultado crucial para el descubrimiento de cepas de microorganismos para el desarrollo de nuevos bioinsumos.

Actualmente, la investigación en bioinsumos despliega sus esfuerzos en dos direcciones principales: por un lado, hacia el desarrollo de nuevos productos, buscando un desempeño mejor al de los insumos ya disponibles; por el otro, hacia nuevas formulaciones o estrategias de aplicación que contribuyan a una mayor productividad de los bioinsumos que se hallan en el mercado.

En relación con el desarrollo de nuevos productos, las bacterias y hongos endófitos tienen un gran potencial, toda vez que, además de colonizar el interior de las plantas, son capaces de mejorar la germinación de las semillas, fijar nitrógeno, controlar insectos plaga, ácaros y enfermedades, producir fitohormonas, estimular las defensas de las plantas, disminuir los efectos del estrés abiótico y degradar compuestos nocivos, entre otros beneficios (Grabka *et al.*, 2022; Oukala *et al.*, 2021; Celador-Lera *et al.*, 2018; Puri *et al.*, 2017). Otra línea de trabajo es la de los microorganismos benéficos, que influyen en la planta huésped estimulando su respuesta de defensa, la producción de hormonas y la absorción de nutrientes. En tercer lugar, hay avances en desarrollos para cultivos o funciones para los que aún no hay suficiente oferta, como, por ejemplo, el control de malezas y la adaptabilidad a diversas condiciones climáticas.

Por otro lado, en relación con las contribuciones para incrementar la productividad de los bioinsumos disponibles en el mercado, cabe mencionar, en primer lugar, el viraje reciente de la inoculación de una sola cepa de microorganismos a la de consorcios microbianos; es decir, un ensamblaje de géneros y especies de microorganismos. Esto permite optimizar la interacción de los microorganismos entre sí y con su entorno, y asegurar su estabilidad a largo plazo (Li *et al.*, 2021; Pacheco *et al.*, 2019). De todas formas, aún se desconoce cómo estos consorcios microbianos se establecerían en una variedad de entornos de campo agrícola, cuál es su forma óptima de aplicación, su dosis adecuada (Finkel *et al.*, 2017) y su persistencia en el tiempo (Mitter *et al.*, 2021). En segundo lugar, se encuentran las estrategias de inoculación, ya sea para biofertilizantes (Kamaei *et al.*, 2019; Ashrafi *et al.*, 2014; Xavier y Germida, 2003) o bioplaguicidas (Izquierdo-García *et al.*, 2021; Minchev *et al.*, 2021).

También se está expandiendo la investigación para el desarrollo de formulaciones que garanticen la estabilidad de los microorganismos frente a las

6 La tecnología metagenómica estudia y analiza la estructura y función de las secuencias de nucleótidos de los organismos (habitualmente microbios) presentes en una muestra. La metatranscriptómica, por su parte, estudia y analiza la expresión génica de los organismos (habitualmente microbios) presentes en una población dada en un determinado momento. La metaproteómica estudia y analiza el complemento proteico de los organismos (habitualmente microbios) presentes en una población dada en un determinado momento. Por último, la metametabolómica estudia y analiza los metabolitos, sus concentraciones, interacciones y dinámicas a nivel global de los organismos (habitualmente microbios) presentes en una población dada en un determinado momento.

condiciones ambientales adversas de campo y que prolonguen su vida útil, idealmente sin requerir de cadena de frío. Por otro lado, se está explorando el desarrollo de sistemas de producción o de formulación que estimulen la actividad biológica (biofertilizante o biocontroladora) de los microorganismos que constituyen los bioinsumos.

Por último, en paralelo a estas direcciones principales, se hallan las líneas de investigación más incipientes en ingeniería de microbiomas (Han y Yoshikuni, 2022; Kaul et al., 2021) y en ingeniería de la rizosfera (Ali et al., 2017; Dessaux et al., 2016). Estos desarrollos parten del entendimiento de la salud del suelo como una propiedad integradora, la que refleja su capacidad para responder a la intervención agrícola, de modo que continúe siendo útil tanto para dicha producción como para la provisión de otros servicios ecosistémicos (Kibblewhite et al., 2008). Por ejemplo, mantener la calidad del agua y la productividad de las plantas, controlar el reciclaje de nutrientes del suelo y la descomposición y eliminación de gases de efecto invernadero (GEI) (Handayani y Hale, 2022; Lehmann et al., 2020).

1.3. TIPOLOGÍAS DE CADENA DE VALOR

El proceso de desarrollo y producción de bioinsumos adquiere diversas características y grados de complejidad según el circuito productivo del que se trate. En el marco de este trabajo, esta heterogeneidad fue organizada en torno a tres tipologías de cadenas de valor, cada una de las cuales contempla actividades diferentes, que requieren capacidades productivas específicas (ver Figura 3).

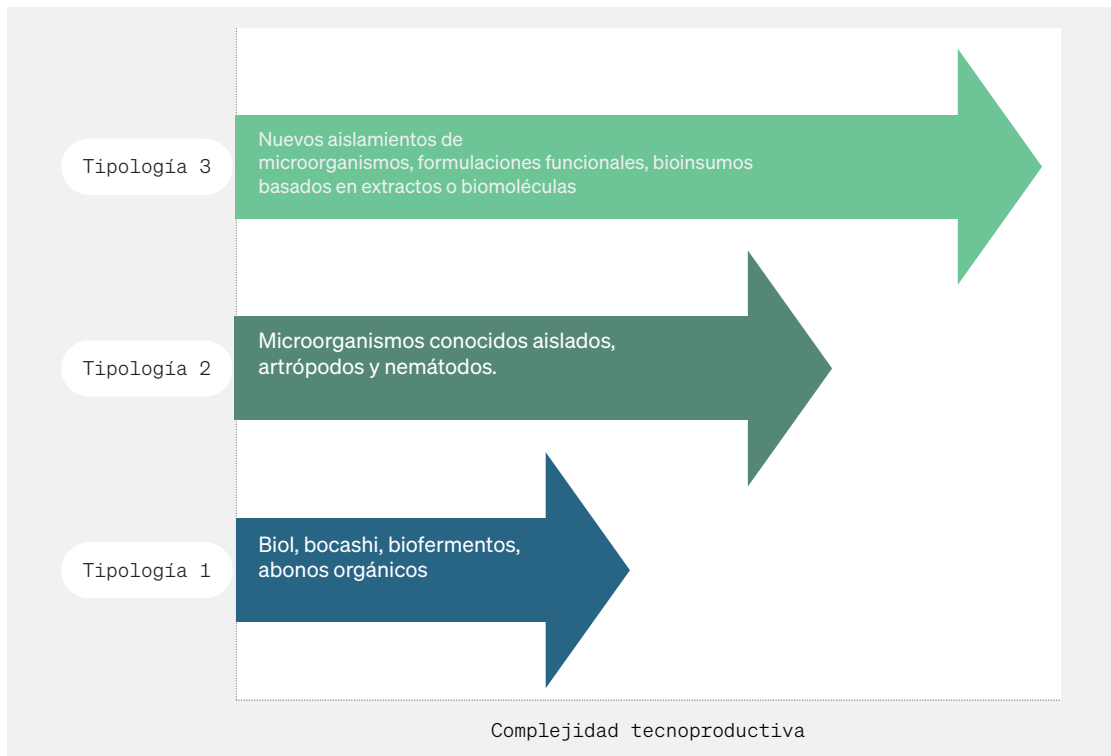


Figura 3
Grado de complejidad tecnoproductiva según tipo de cadena de valor

FUENTE: elaboración propia en base a las entrevistas realizadas.

La tipología 1 se refiere a una producción de tipo artesanal, que no requiere grandes esfuerzos para la adquisición de equipamiento o infraestructura. Solo en los casos de mayor complejidad es preciso contar con salas de producción con contenedores para la fermentación e infraestructura para el almacenamiento de la materia prima y de los productos terminados (ver Figura 4). Así, las inversiones son bajas, del orden de los 5 000 USD o menos.⁷ Como estos bioinsumos no se comercializan, no son registrados ante autoridades regulatorias.

Esta tipología concierne típicamente a **productores/as agrícolas individuales de pequeña escala**, quienes elaboran bioinsumos en sus fincas para el autoconsumo, principalmente fertilizantes orgánicos y bioestimulantes basados en biofermentos. La fermentación controlada no genera gases tóxicos ni mal olor, reduce el volumen del material de partida y permite obtener un producto de bajo costo, capaz de fertilizar a las plantas, nutrir a la tierra, regular negativamente el desarrollo de agentes fitopatógenos y aportar fitohormonas y fitoreguladores que impulsan el crecimiento y el desarrollo vegetal.

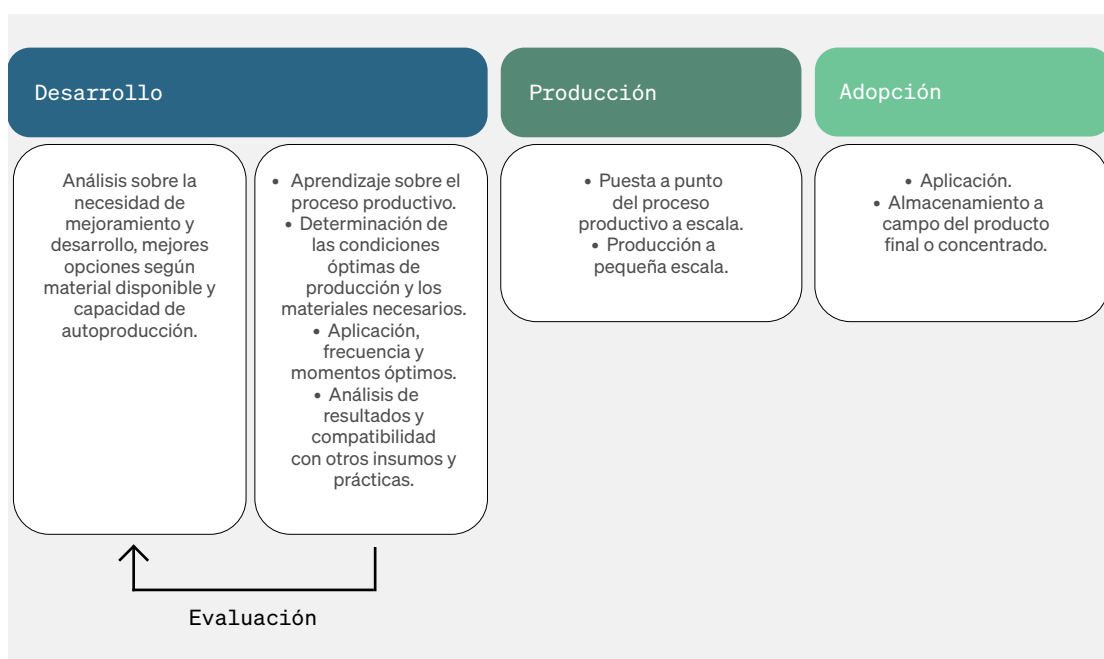


Figura 4
Cadena de valor de bioinsumos de la tipología 1

FUENTE: elaboración propia.

⁷ El 93,8 % de los/as productores/as agrícolas de menos de 20 hectáreas que elaboran bioinsumos de manera individual y que respondieron a la encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en la región declaró haber realizado inversiones menores a los 5 000 USD.

La tipología 2 incluye la producción de biocontroladores, biofertilizantes o bioestimulantes basados en microorganismos en medio sólido, así como artrópodos y nematodos para control biológico (enemigos naturales). En este caso, se tiende a trabajar con agentes biológicos conocidos, y, por lo tanto, no se requieren esfuerzos de investigación científica. A diferencia de la tipología 1, esta demanda recursos humanos formados e instalaciones y equipamiento de mayor complejidad, llevando los niveles de inversión a un intervalo más elevado, entre los 5 000 y 50 000 USD.⁸ Por ese motivo, involucra generalmente a **cooperativas o asociaciones de productores/as agrícolas, productores/as medianos/as o grandes y empresas agrícolas**. El destino principal de los bioinsumos producidos por esta tipología de cadena es el autoconsumo. Sin embargo, puede ocurrir que una fracción de lo producido sea comercializada, para lo cual se requiere obtener el registro ante la autoridad regulatoria (ver Figura 5).

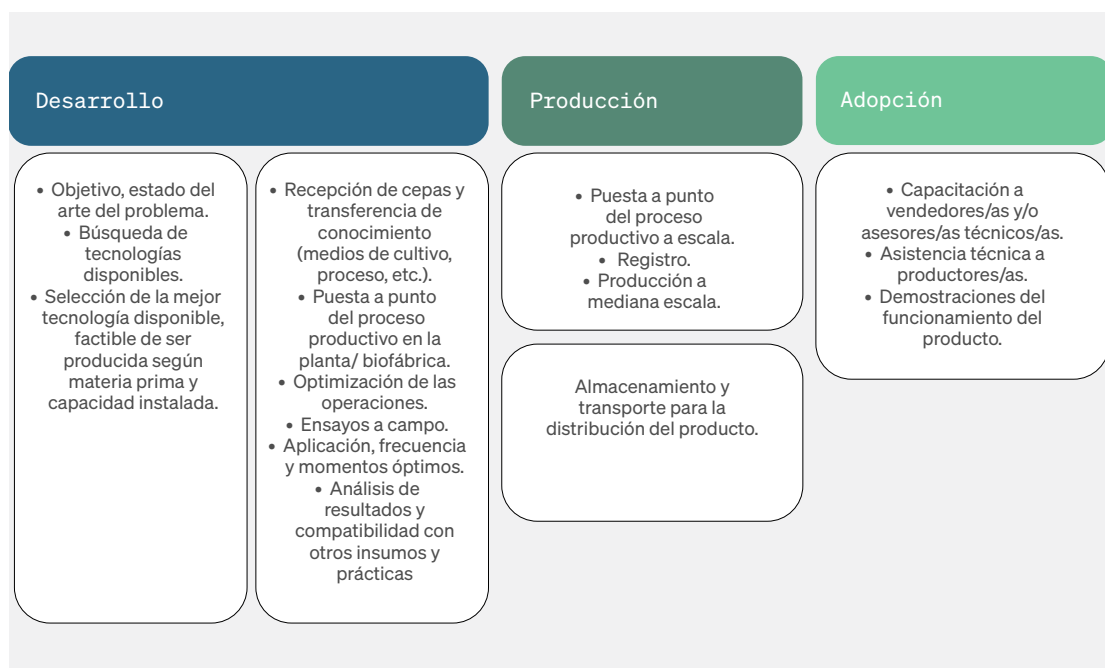


Figura 5
Cadena de valor de bioinsumos de la tipología 2

FUENTE: elaboración propia.

Finalmente, la cadena de valor de la tipología 3 incluye una etapa de investigación y desarrollo (I+D), por lo que se debe contar con un equipo de investigación especializado en las etapas de base, proceso y formulación de bioinsumos. Esto permite no solo producir los tipos de bioinsumos elaborados por los grupos anteriores, sino también desarrollar nuevos agentes, nuevas formulaciones funcionales y bioinsumos basados en biomoléculas o extractos biológicos (ver Figura 6).

⁸ Asimismo, el 90,5 % de los/as productores/as y empresas agrícolas de menos de 20 hectáreas y de las asociaciones y cooperativas cuyos asociados/as tienen en promedio menos de 20 hectáreas, que respondieron la encuesta, declararon haber realizado inversiones de hasta 50 000 USD para la producción de bioinsumos.

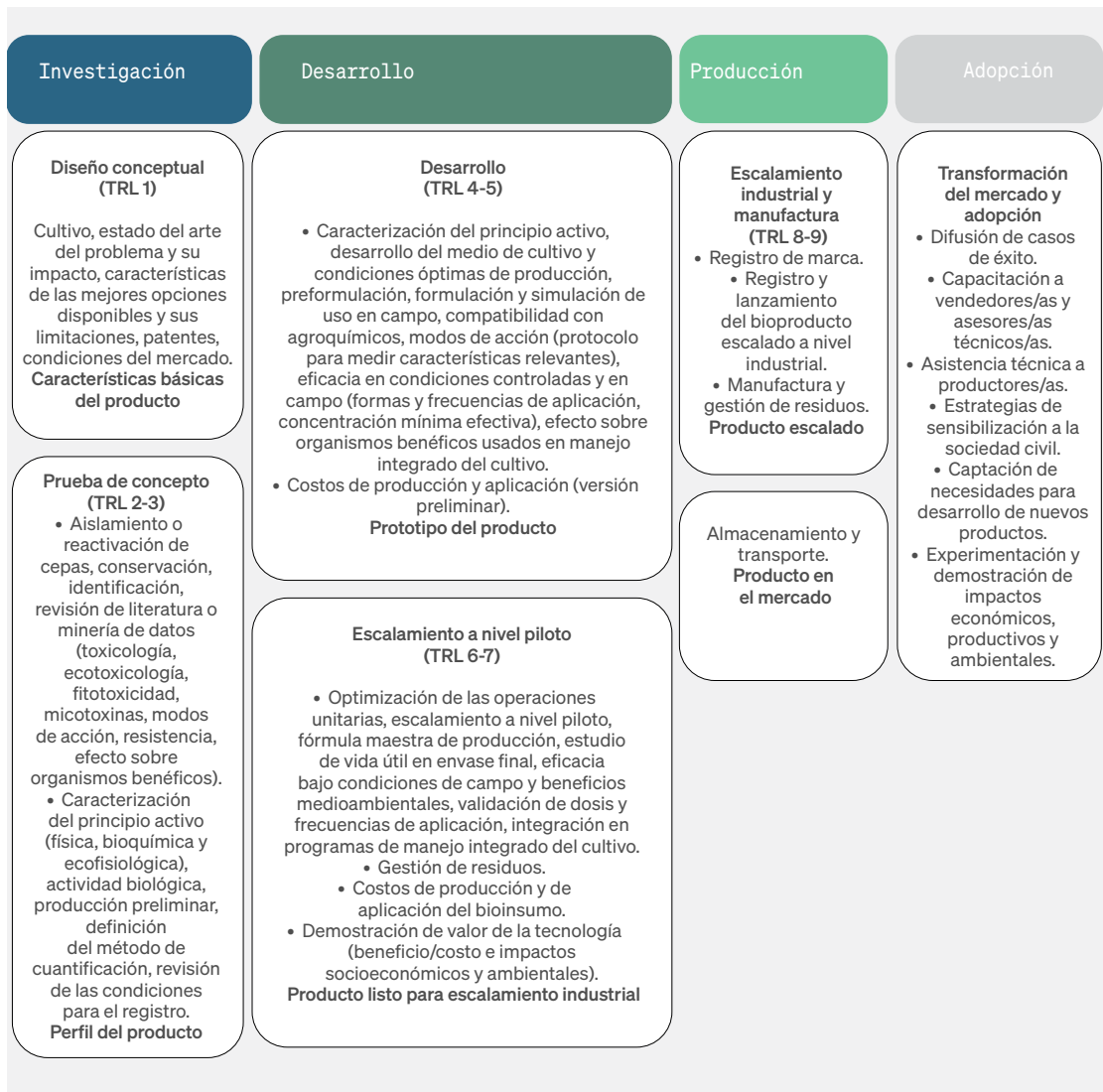


Figura 6
Cadena de valor de bioinsumos de la tipología 3

FUENTE: elaboración propia.

Dada la escala y la dotación de infraestructura y recursos humanos necesarios, las inversiones requeridas son más elevadas. Por lo general, las entidades que se insertan en esta tipología de cadena de valor son aquellas para las que la producción de bioinsumos es parte integral de su negocio o su actividad principal. Esto incluye asociaciones o empresas agrícolas que se vuelcan a la producción de bioinsumos, empresas que nacen para abocarse a este mercado o las que lo hacen para ampliar su portafolio de productos agroquímicos.

En esta tipología se distinguen dos tramos según el nivel de inversiones:⁹

Tramo 1: inversión media-alta (hasta un millón de USD). Se compone de grandes asociaciones de productores/as, grandes empresas agrícolas y empresas desarrolladoras de bioinsumos pequeñas o medianas. Estas organizaciones tienen una mayor escala de producción en medio sólido que las de la tipología 2 y pueden contar con una planta pequeña o mediana para la producción en medio líquido (biofermentadores, centrifugas, equipos de filtración tangencial, flujo laminar, cámaras de frío, control preciso de la temperatura, autoclaves, etc.).


























Tramo 2: inversión alta (más de un millón de USD). Se compone de grandes empresas consolidadas y *startups*. Cuentan con una planta de bioprocesos mediana o grande (que puede incluir un área de purificación de biomoléculas), laboratorios de control de calidad microbiológico y molecular y un área de desarrollo químico para el diseño de las formulaciones funcionales. Algunas empresas también incorporan áreas de ingeniería *in house* y de vigilancia tecnológica. Estas organizaciones pueden desarrollar y producir bioinsumos con formulaciones funcionales y bioinsumos basados en biomoléculas o extractos biológicos. Por lo general, incluyen la producción de microorganismos en medio líquido.

Por último, la tipología 3, en cualquiera de los dos tramos, puede abarcar la cadena de valor completa, es decir, desde la investigación hasta la comercialización de bioinsumos (en cuyo caso se debe contar con un área de registro para los productos comerciales). Cabe apuntar que, debido a que se trata de tecnologías emergentes, tanto las empresas desarrolladoras de bioinsumos como los organismos públicos que los promueven deben realizar esfuerzos adicionales para impulsar su adopción. Así, según la encuesta realizada en el marco de esta investigación solo el 20,7 % de los/as productores/as, asociaciones, cooperativas y empresas agrícolas que utilizan bioinsumos no recibieron capacitaciones para comenzar a hacerlo, ya sea por haber investigado por cuenta propia sobre el tema o porque ya contaban con formación universitaria o técnica al respecto. Entre quienes sí recibieron capacitaciones, la mayor parte lo hizo de parte de la empresa proveedora de bioinsumos (42,9 %) o de una institución pública (41,9 %).

En el siguiente cuadro se resumen las principales inversiones y requerimientos asociados a las distintas tipologías de cadenas de valor (ver Cuadro 1).

⁹ Todas las empresas agrícolas, cooperativas y asociaciones agrícolas que respondieron a la encuesta, independientemente de su tamaño, realizaron inversiones menores a un millón de USD. Por su parte, el 94,4% de las empresas productoras de bioinsumos encuestadas con facturación de hasta un millón de USD realizaron inversiones menores a un millón USD. Entre las empresas con facturación de más de un millón de USD, el 54,1% realizó inversiones menores a un millón de USD y el 45,9%, superiores a esa cifra.

Cuadro 1
Tipologías de inversión por tipo de cadena de valor

Tipología de cadena de valor	Actor	Características de los productos	Tipologías de inversión	Nivel de inversión	Requerimientos de RRHH
Tipología 1	 <p>Personas productoras agrícolas individuales de pequeña escala</p>	<p>Calidad: </p> <p>Complejidad productiva: </p> <p>Complejidad de manejo: </p> <p>Riesgo ambiental: </p>	Insumos y capital de trabajo para materia prima y sala de producción artesanal	 <p>Bajo (hasta 5 000 USD)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Personal técnico u operarios/as capacitados/as
Tipología 2	 <p>Cooperativas o asociaciones de productores/as, personas productoras/as medianos/as o grandes y empresas agrícolas</p>	<p>Calidad: </p> <p>Complejidad productiva: </p> <p>Complejidad de manejo: </p> <p>Riesgo ambiental: </p>	Biofábrica para la producción y manipulación de micro y/o macroorganismos. La producción de microorganismos se realiza en general en medio sólido	 <p>Medio bajo (hasta 50 000 USD)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Personal técnico u operarios/as capacitados/as Transferencia de cepas y conocimiento de instituciones referentes Un/a profesional responsable
Tipología 3 primer tramo	 <p>Empresas desarrolladoras de bioinsumos pequeñas o medianas, grandes empresas agrícolas o grandes asociaciones de productores/as</p>	<p>Calidad: </p> <p>Complejidad productiva: </p> <p>Complejidad de manejo: </p> <p>Riesgo ambiental: </p>	Biofábrica para la producción y manipulación de micro y/o macroorganismos. La producción de microorganismos se realiza en medio sólido y/o líquido	 <p>Medio alto (hasta 1 millón USD)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Técnicos/as u operarios/as capacitados/as Transferencia de cepas y conocimiento de instituciones referentes y/o aislamientos propios Un/a profesional responsable
Tipología 3 segundo tramo	 <p>Grandes empresas consolidadas o startups con financiamiento de capital de riesgo</p>	<p>Calidad:  / </p> <p>Complejidad productiva: </p> <p>Complejidad de manejo: </p> <p>Riesgo ambiental: </p>	Planta de bioprocesos para fermentación líquida, que puede contar con área de purificación de biomoléculas, laboratorios de control de calidad microbiológico y molecular, área de desarrollo químico para el diseño de las formulaciones funcionales, área de ingeniería in house y área de vigilancia tecnológica	 <p>Alto (más de 1 millón USD)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Profesionales en biología, microbiología o biotecnología Profesionales en fitopatología o entomología Profesionales en química con experticia en formulación Profesionales en ingeniería agronómica Profesionales en economía y mercadeo Profesionales en ingeniería química o mecánica

FUENTE: elaboración propia en base a entrevistas y a la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe.





Capítulo 2

Beneficios y riesgos de la adopción de bioinsumos agrícolas

Los bioinsumos son un componente fundamental para la transición hacia sistemas productivos agroecológicos, en tanto contribuyen a la eficiencia, la sinergia, la resiliencia, el reciclaje y la economía circular, cinco de los 10 elementos agroecológicos propuestos por la FAO (2018). En efecto, los bioinsumos pueden contribuir a regenerar la salud del suelo, preservar la biodiversidad, fijar carbono y, al facilitar la disminución del uso de agroquímicos, aportar a la reducción de emisiones de GEI y a mitigar los efectos nocivos de estos para la salud. Lo anterior, en un marco de generación de mayores oportunidades de desarrollo económico para los territorios rurales y de ecuaciones costo-efectivas para quienes se dedican a la agricultura.

Sin embargo, la utilización de bioinsumos no está exenta de riesgos, cuya consideración resulta crucial para el diseño de estrategias de promoción inteligentes.

En este capítulo se reseñan, en primer lugar, los beneficios potenciales asociados al uso de bioinsumos, incorporando las perspectivas de quienes los adoptan, recabadas a partir de la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en la región. También se identifica cuáles de esos beneficios cuentan con evidencia científica robusta que los respalde. En segundo lugar, se presentan los principales riesgos ambientales y económicos asociados al uso de bioinsumos.

2.1 BENEFICIOS E IMPACTO POTENCIAL

Si bien son pocos los trabajos publicados sobre los impactos del uso de bioinsumos al largo plazo,¹⁰ la evidencia da cuenta de diversos tipos de beneficios ambientales y económicos derivados de su uso.

¹⁰ Se debe tener en cuenta que, para realizar estudios de impacto, tanto de forma experimental como empírica, se deben comparar los efectos de los bioinsumos con las prácticas tradicionales. A su vez, estos estudios deberían hacerse sobre periodos prolongados de tiempo y no solo sobre unas pocas cosechas.

Cabe destacar, en particular, el aporte de los metaanálisis, como los realizados por Schütz *et al.* (2018) y Dos Santos *et al.* (2020), quienes analizan investigaciones realizadas a nivel internacional¹¹ y condensan la evidencia disponible sobre los impactos de la adopción de bioinsumos (ver Anexo 4).

Junto con estos metaanálisis, en este estudio se revisaron alrededor de 150 publicaciones científicas sobre los beneficios e impactos de biofertilizantes, bioestimulantes y bioplaguicidas. A partir de la revisión bibliográfica, se otorgaron valoraciones cualitativas a cada variable según la dimensión del impacto y de la evidencia disponible. El análisis fue validado con personas expertas de la región. Los resultados de este proceso se pueden encontrar en la Cuadro 2. Allí se presentan, para cada tipo de impacto, por un lado, cuán fuertemente se asocia a cada tipo de bioinsumo (poco, indirecto, existente o alto). Asimismo, se indica el grado de evidencia científica existente o si, por el contrario, se trata de un impacto potencial, para el que no se encontró evidencia científica.

El mayor impacto del uso de bioinsumos y la mayor disponibilidad de evidencia se verifica en relación con variables ambientales asociadas a la reducción del uso de agroquímicos (menor contaminación de sistemas acuáticos subterráneos, suelo y aire; mejora en las condiciones fisicoquímicas del suelo y en la biodiversidad). También en variables productivas para el uso de biofertilizantes (crecimiento de los cultivos e incremento en la captación de nutrientes), bioplaguicidas (crecimiento de los cultivos y reducción de la incidencia de las plagas) y bioestimulantes (incremento de la tolerancia al estrés abiótico).

Por el contrario, existe menor disponibilidad de evidencia en lo que se refiere al impacto de la adopción de bioinsumos en la reducción de los costos de producción y en la valoración de la biodiversidad o de servicios ecosistémicos. En el caso de los bioplaguicidas, existe menor evidencia sobre la magnitud del potencial impacto positivo sobre la salud humana y en la disminución de metales pesados y otros tóxicos en el suelo.

11 Schütz *et al.* (2018) analiza un total de 171 publicaciones; Dos Santos *et al.* (2020), alrededor de 130.

Cuadro 2

Principales beneficios derivados del uso de bioinsumos y volumen de evidencia científica disponible

Impacto	Poco/indirecto ○	Existe ○	Mucho ○	Sin —
Evidencia				

Impacto y Evidencia	Biofertilizantes	Bioestimulantes	Bioplaguicidas
Disminución de GEI por disminución de uso de fertilizantes químicos	●	○	○
Disminución de GEI por disminución de uso de plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas)	○	○	○
Evitar emisiones por cambio de uso de suelo	○	○	○
Disminución de contaminación por residuos del uso de plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas)	○	○	●
Disminución de contaminación por residuos del uso de fertilizantes	●	○	—
Disminución de metales pesados y otros tóxicos en el suelo	○	○	○
Tolerancia a estrés abiótico	○	●	○
Mejora en la salud y en las condiciones físico químicas del suelo	●	●	●
Incremento de la biodiversidad y disminución de la pérdida de organismos no blanco (no target)	○	○	●
Reducción en la contaminación de alimentos	—	—	●
Reducción en la contaminación del agua	●	—	●
Reducción en la contaminación del aire	—	—	●
Reducción de riesgos para la salud humana	○	○	○
Fijación de nitrógeno en el suelo	●	—	—
Solubilización de fosfatos/ ahorro de fósforo	●	—	—
Promoción de crecimiento	●	○	●
Reducción de pérdidas por plagas	○	○	●
Valoración a la biodiversidad/servicios ecosistémicos	○	○	○
Aumento de rendimientos en la agricultura	○	○	○
Reducción de costos de producción	○	○	○

FUENTE: elaboración propia en base a Dos Santos et al. (2020), Schütz et al. (2018), la bibliografía citada en el Anexo 4 de este documento y la discusión con personas expertas en la temática.

Buena parte de los beneficios de la adopción de bioinsumos se derivan de su posibilidad de disminuir el uso de agroquímicos, reduciendo así los impactos negativos que estos tienen en el medio ambiente, en la salud humana y en el comercio internacional. Más de tres cuartas partes (un 78,8%) de quienes adoptan bioinsumos que respondieron la encuesta realizada para este estudio manifestaron haber reducido su consumo de agroquímicos. Además, cerca del 41% estiman haber disminuido su empleo en más de un 20%.

En el caso de los fertilizantes químicos, sus principales impactos negativos resultan de la liberación de una fracción importante del nitrógeno aplicado en el ambiente. El nitrógeno es un insumo clave para la producción de alimentos; sin embargo, más de la mitad del fertilizante nitrogenado suministrado en los sistemas agrícolas no es utilizado por los cultivos y se pierde en el ecosistema por volatilización, escorrentía o lixiviación (West *et al.*, 2014; Delgado y Follet, 2010; Cassman *et al.*, 2002). Estas pérdidas ocasionan serios problemas, tales como:

- i. la liberación de óxido nitroso (N_2O) en la atmósfera, que actúa como GEI (Hickman *et al.*, 2021);
- ii. la contaminación con nitratos de los sistemas acuáticos subterráneos, que acarrea potenciales efectos negativos para la salud humana (Martínez-Dalmau *et al.*, 2021);
- iii. la acidificación del suelo, estrechamente relacionada con la reducción de la diversidad y composición microbiana (Zhang *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020); y
- iv. la reducción de la biodiversidad (Martínez-Dalmau *et al.*, 2021).

A su vez, el exceso de nitrógeno y fósforo en los cuerpos de agua, resultante de la fertilización, altera el equilibrio de los ecosistemas, ya que promueve el crecimiento desmedido de algas. Al impedir que la luz y el oxígeno lleguen a zonas más profundas de estos cuerpos acuáticos, las algas causan la muerte de especies de plantas y animales acuáticos nativos, que son sustituidos por especies mejor adaptadas a ambientes anaeróbicos.

MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO A PARTIR DE LA ADOPCIÓN DE BIOINSUMOS: IMPACTOS POTENCIALES EN EL BRASIL

Los fertilizantes nitrogenados se sobreutilizaron en un 105,3% en el 2020, lo cual representó alrededor de 42,1 kilogramos de Nitrogeno más de lo necesario por hectárea en la producción de alimentos (Wuepper, 2020). Esta métrica indica cuánta contaminación por nitrógeno producen los países por el uso de fertilizantes en relación con el grado en que reducen sus brechas de rendimiento (la diferencia entre los rendimientos alcanzables y alcanzados), respecto a los países vecinos. Los valores positivos indican que un país aplica nitrógeno en exceso sin aumentar el rendimiento, lo que genera un aumento de las concentraciones de N_2O en la atmósfera, un GEI con un potencial de calentamiento 273 veces más potente que el CO_2 (IPCC, 2022). Así, existe evidencia que da cuenta de los efectos benéficos de la adopción de biofertilizantes para mitigar los GEI.

El Brasil consume el 8% del total de fertilizantes producidos a nivel global. También es el país de Sudamérica que más utiliza fertilizantes con N en exceso, sin que esto conlleve a mejores rendimientos. Un estudio de Aguirre et al. (2018) bianual sobre el sector de la lechería en el estado de Río Grande del Sur, en el Brasil, descubrió que las praderas inoculadas con *Azospirillum brasilense* y fertilizadas con 100 kg de Nitrógeno por hectárea tuvieron un rendimiento de forraje similar a las praderas no inoculadas que recibieron el doble de nitrógeno. Adicionalmente, Aguirre et al. (2020) realizó una investigación con el objetivo de cuantificar el efecto de inoculación sobre el rendimiento del forraje y la fijación de nitrógeno biológico. El estudio se realizó entre septiembre de 2014 y agosto de 2015, en la depresión central del estado de Río Grande del Sur. El experimento se llevó a cabo en un diseño de bloque completamente aleatorizado, en una disposición factorial de 2x2 (con o sin inoculación de *Azospirillum brasilense*, y con o sin fertilización de nitrógeno) en 5x3 metros, con tres repeticiones. Los resultados mostraron que el mismo inoculante *Azospirillum brasilense* incrementó la fijación biológica de nitrógeno en un 133,9%.

A partir de estos hallazgos, es posible calcular el potencial impacto de la adopción de este inoculante de origen biológico en Brasil (ver Figura 7).

¿Qué países sobreaplicaron nitrógeno sin ganancia en los cultivos?

Our World in Data

Se muestra cuánta contaminación por nitrógeno causaron los países en comparación con cuánto redujeron sus brechas de rendimiento con los países vecinos. Valores positivos (de amarillo a rojo) indican que un país sobre aplicó nitrógeno sin aumento del rendimiento. Esto se basa en datos sobre la brecha de rendimiento y nitrógeno publicados entre 2012 y 2015.

South Ameri...

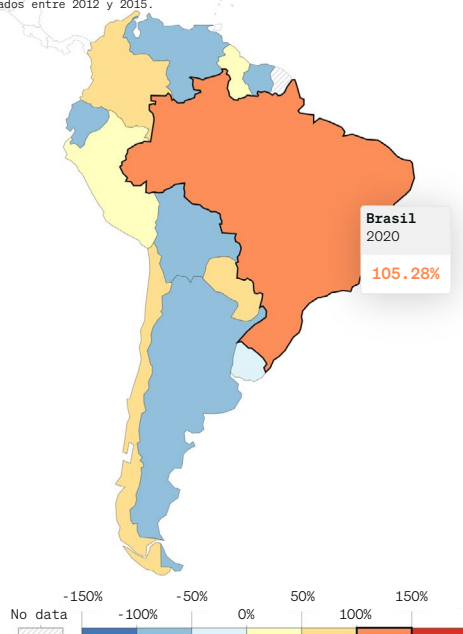


Figura 7

Países que utilizan un exceso de fertilizantes con nitrógeno sin tener ganancias en los rendimientos de sus cultivos

FUENTE: Wuepper, D., Le Clech, S., Zilberman, D., Mueller, N. y Finger, F. 2020. Countries influence the trade-off between crop yields and nitrogen pollution. Nat Food 1: 713-719.

En 2021, en el Brasil había alrededor de 123 993 millones de hectáreas dedicadas a pastizales sin una degradación severa. A la luz de los resultados de Aguirre *et al.* (2018), si se interviniera con *Azospirillum brasilense* el 10% de dicha superficie, la reducción en el uso de fertilizantes sintéticos conllevaría una mitigación de 5 666 019 TCO₂eq.

Si se considera el incremento de fijación biológica de nitrógeno (Aguirre *et al.*, 2020), intervenir el 10% de las hectáreas de pastizales con *Azospirillum brasilense* el potencial de mitigación sería de 1 828 848 TCO₂eq, y de 17 451 339 TCO₂eq si se interviniera en el 100% (ver Gráfico 1).

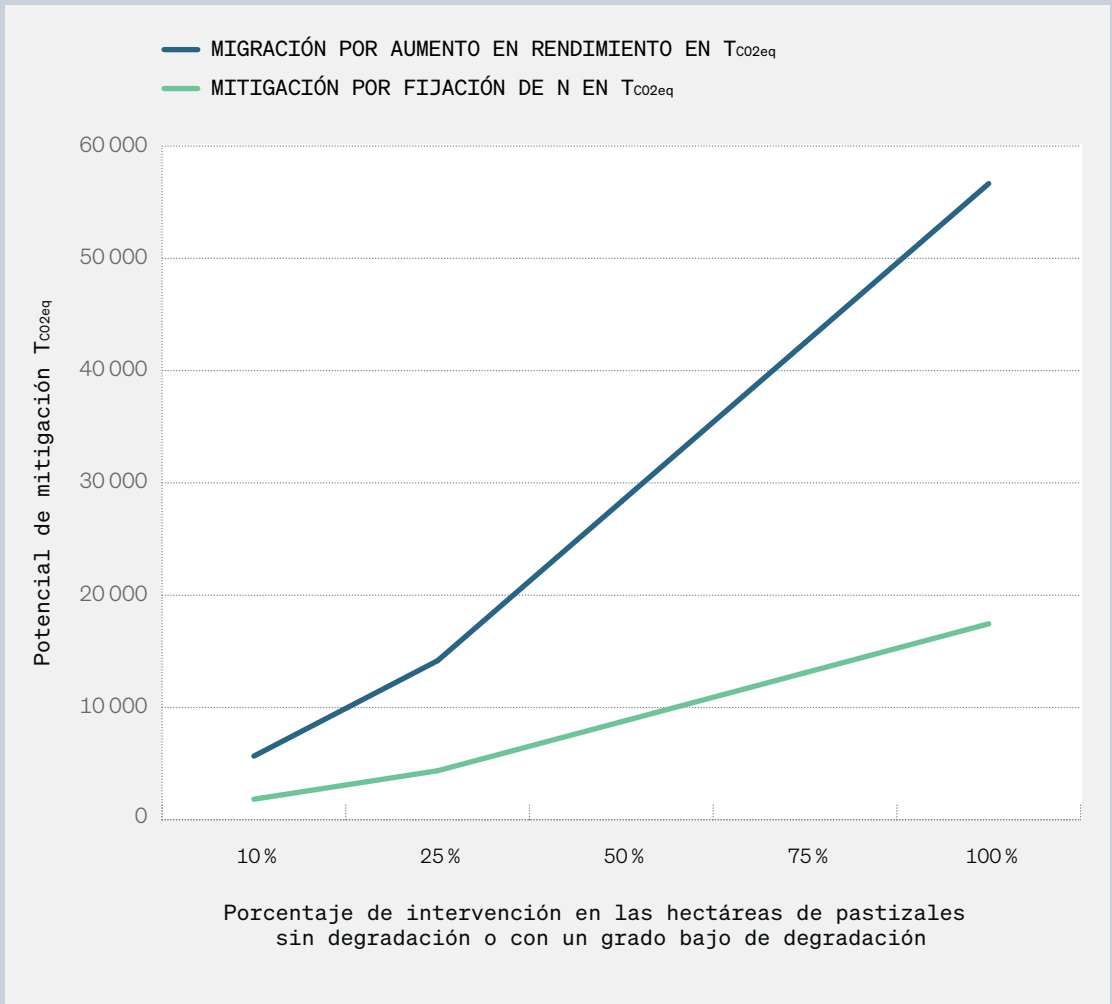
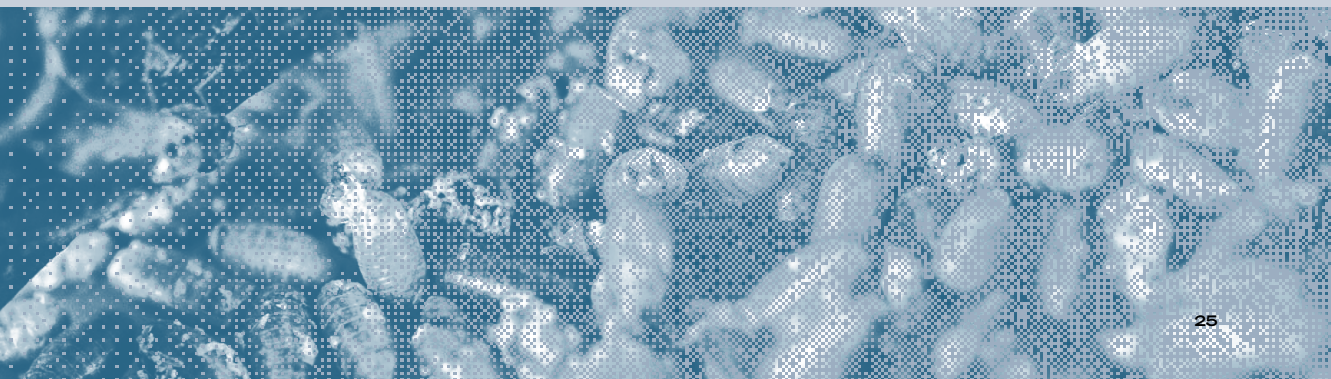


Gráfico 1

Resultados cruzados por disminución de uso de fertilizantes sintéticos de N por aumento en rendimiento y por aumento en fijación de nitrógeno

NOTA: los resultados corresponden a solo un caso de estudio, en el que se emplearon varios supuestos. Estudios más específicos necesitarán llevarse a cabo para poder comprobar estos resultados.

FUENTE: Aguirre, P. F., Giacomini, S. J., Olivo, C. J., Bratz, V. F., Quatrin, M. P. y Schaefer, G. L. 2020. Biological nitrogen fixation and urea-N recovery in 'Coastcross-1' pasture treated with *Azospirillum* brasilense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55.



Los plaguicidas, por su parte, son utilizados con el objetivo explícito de controlar la proliferación de organismos como arvenses, insectos, hongos y roedores (Matthews, 2015). Sin embargo, la exposición no intencional a muchos de estos productos puede ser extremadamente peligrosa para los seres humanos, provocando desde malestares a corto plazo –irritación de la piel y los ojos, dolores de cabeza, mareos y náuseas– hasta efectos crónicos (Kim et al., 2017; Sarwar, 2015).¹²

El uso de plaguicidas también tiene efectos sobre la vida silvestre, impactando su desarrollo y reproducción e incluso provocando la muerte de especies no objetivo (FAO, 2022b; Köhler et al., 2013; Story y Wildl, 2001). Estudios han demostrado que el uso de una amplia gama de plaguicidas induce embriotoxicidad y teratogenicidad en peces, anfibios e invertebrados (Pašková et al., 2011). A su vez, muchos plaguicidas afectan a los polinizadores –que cumplen un rol crucial en la producción de frutos y semillas en aproximadamente el 88% de las plantas con flores (Ollerton et al., 2011; FAO, 2022b)– no solo cuando son aplicados en sus concentraciones letales, sino también en concentraciones más bajas (Tosi et al., 2022). Por el contrario, habida cuenta de que los bioplaguicidas actúan sobre un número limitado de plagas (artrópodos, enfermedades, arvenses), frecuentemente no afectan a especies no objetivo (Ayilara et al., 2023; Malinga y Laing, 2022; Fenibo, Ijoma y Matambo, 2021; Kumar et al., 2021; Kamble et al., 2016; Vikas et al., 2014).

También se debe considerar que las plagas suelen desarrollar resistencia a los plaguicidas de síntesis química luego de su aplicación reiterada, lo que incrementa la incidencia de las externalidades negativas de dichos productos. En el caso de los bioplaguicidas, el riesgo de que los artrópodos plaga y los fitopatógenos desarrollen resistencia es muy bajo (Mamani de Marchese y Filippone, 2018). Además, cuando los bioplaguicidas se utilizan en rotación con plaguicidas de síntesis química, los primeros contribuyen a reducir el riesgo de resistencia a los segundos (EPA, 2022b; FAO, 2012; Chandler et al., 2011).

Otro aspecto para tener en cuenta es que el cambio climático acelera la reproducción de las plagas e incrementa sus zonas de propagación, debido al aumento de la temperatura y, en algunas áreas, de la humedad. Esto significa que es esperable que el uso de plaguicidas aumente en el futuro y se vuelva más apremiante su reemplazo por bioplaguicidas, dado su menor impacto ambiental.

Los agroquímicos también contienen metales pesados como cobre, cadmio, plomo y mercurio, que, además de ser nocivos para la salud humana, pueden perjudicar el metabolismo de las plantas y disminuir la productividad de los cultivos (Eugenio et al., 2019). Los bioplaguicidas y biofertilizantes, en cambio, son biodegradables: no dejan residuos dañinos en el cultivo o en el medio ambiente.

Además de contribuir a la disminución en el uso de agroquímicos y, en consecuencia, de sus efectos adversos, el uso de bioinsumos tiene potenciales efectos positivos, tanto ambientales como económicos.

12 Entre las enfermedades relacionadas con la exposición a plaguicidas químicos se encuentran la leucemia (Bailey et al., 2015; Maryam et al., 2015); distintos tipos de cáncer (Amr et al., 2015; Arrebola et al., 2015; Lerro et al., 2015a, 2015b; Koutros et al., 2008); diabetes (Jaacks y Stamez, 2015; Tang et al., 2014); Parkinson (Chorfa et al., 2016) y problemas cognitivos como Alzheimer, discapacidad cognitiva y efectos neuroconductuales (Lee et al., 2016).

En primer lugar, el uso de biofertilizantes en combinación con fertilizantes químicos, al permitir obtener mejores rendimientos, evita cambios en el uso de suelo y con eso emisiones de GEI (Mendoza Beltrán *et al.*, 2021). A su vez, tanto los bioestimulantes como los biofertilizantes incrementan la calidad de los cultivos, sin comprometer la microbiota ni la fertilidad del suelo. Así, la reducción en el uso de agroquímicos también mejora el rendimiento de los cultivos, ya que se elimina el costo metabólico y energético de las plantas cuando estas se exponen a sustancias químicas (Cesco *et al.*, 2021).

Por otro lado, los biofertilizantes contribuyen a aumentar la fijación de nutrientes, como el nitrógeno, a solubilizar el fósforo, a mejorar las condiciones fisicoquímicas del suelo y a aumentar la capacidad de almacenamiento de carbono. Son una herramienta privilegiada para mejorar la eficiencia y la salud del suelo (Chang-Cong *et al.*, 2019; Kantha *et al.*, 2015).

En relación con los efectos benéficos de los bioinsumos sobre la calidad del suelo, los microorganismos presentes en muchos biofertilizantes y bioplaguicidas permiten que la población microbiana permanezca y se acumule, ayudando así a enriquecer la microbiota y a mejorar la estructura y agregación de las partículas. Esto reduce la compactación y aumenta los espacios porosos, los que aseguran mejor aireación del suelo, percolación y almacenamiento de agua, y reducen la erosión y los impactos de las sequías prolongadas. De ahí que la aplicación de bioinsumos enriquece la biodiversidad del suelo y, con ello, la base de otros servicios ecosistémicos (Mace *et al.*, 2012; Wall y Nielsen, 2012).

Los bioestimulantes, por su parte, mejoran la capacidad de las plantas para enfrentar situaciones adversas como sequías, heladas, y enfermedades (Jha *et al.*, 2017), cuya probabilidad de ocurrencia ha aumentado a causa del cambio climático. De este modo, tienen el potencial de contribuir a la resiliencia de los sistemas agrícolas. Los bioestimulantes también incrementan la disponibilidad de nutrientes para las plantas, contribuyendo así a reducir la pérdida de nitrógeno en el suelo.

Varios de los microorganismos utilizados como biofertilizantes y bioplaguicidas, asimismo, pueden actuar en la reducción de diferentes tipos de estrés biótico y abiótico, promover el crecimiento vegetal y participar en procesos de biorremediación, lo que conduce a la optimización del rendimiento de los cultivos (Książek-Trela y Szpyrka, 2022; Shahid y Khan, 2022; Hashem *et al.*, 2019; Radhakrishnan *et al.*, 2017; Tripathi *et al.*, 2013).

Conviene tener en cuenta que los bioinsumos se adaptan muy bien a procesos de transición hacia sistemas agroecológicos, es decir, que implementan prácticas para proteger la salud del suelo (labranza mínima o cero, la utilización de abonos verdes o de abonos orgánicos como compost, mulching, bokashi, etc.). Esto es así porque los bioinsumos permiten mantener las modalidades de aplicación de los productos convencionales. Además, suelen tener buena compatibilidad con otros bioinsumos y con agroquímicos de baja toxicidad, por lo que pueden incorporarse sin mayores dificultades en programas de manejo integrado de cultivos.

Aún más, los bioinsumos microbianos, al ser organismos vivos, pueden reproducirse una vez aplicados, lo que les da un poder residual o de autopropagación. Por ejemplo, algunos bioplaguicidas microbianos pueden ejercer un control permanente de plagas y contribuir a reducir la frecuencia de las aplicaciones.

Si bien no existe suficiente evidencia documentada, algunos estudios respaldan que el uso de biofertilizantes y bioplaguicidas tienen beneficios económicos tangibles. Un estudio realizado en la finca productora de soya Bom Jardim Lagoano, en el Brasil, dio cuenta de una reducción de los costos, en un 58,6% y aumento de la productividad (en un 13%) (Cruvinell et al., 2022). Por su parte, según los resultados de la encuesta realizada para el presente estudio, un 57,7% de quienes adoptan bioinsumos percibió una reducción en sus costos de producción, y un 44,2% observó un aumento de sus rendimientos (ver Gráfico 2).

Teniendo en cuenta los bioinsumos que utiliza de forma sostenida en el tiempo, señale cuál fue el resultado de utilizarlos sobre las siguientes áreas.

- SE REDUCE MÁS DEL 20%
- SE REDUCE ENTRE 10% Y 20%
- SE REDUCE MENOS DEL 10%
- SE MANTIENE CONSTANTE
- SE ELEVA MENOS DEL 10%
- SE ELEVA ENTRE 10% Y 20%
- SE ELEVA MÁS DEL 20%
- NO SABE

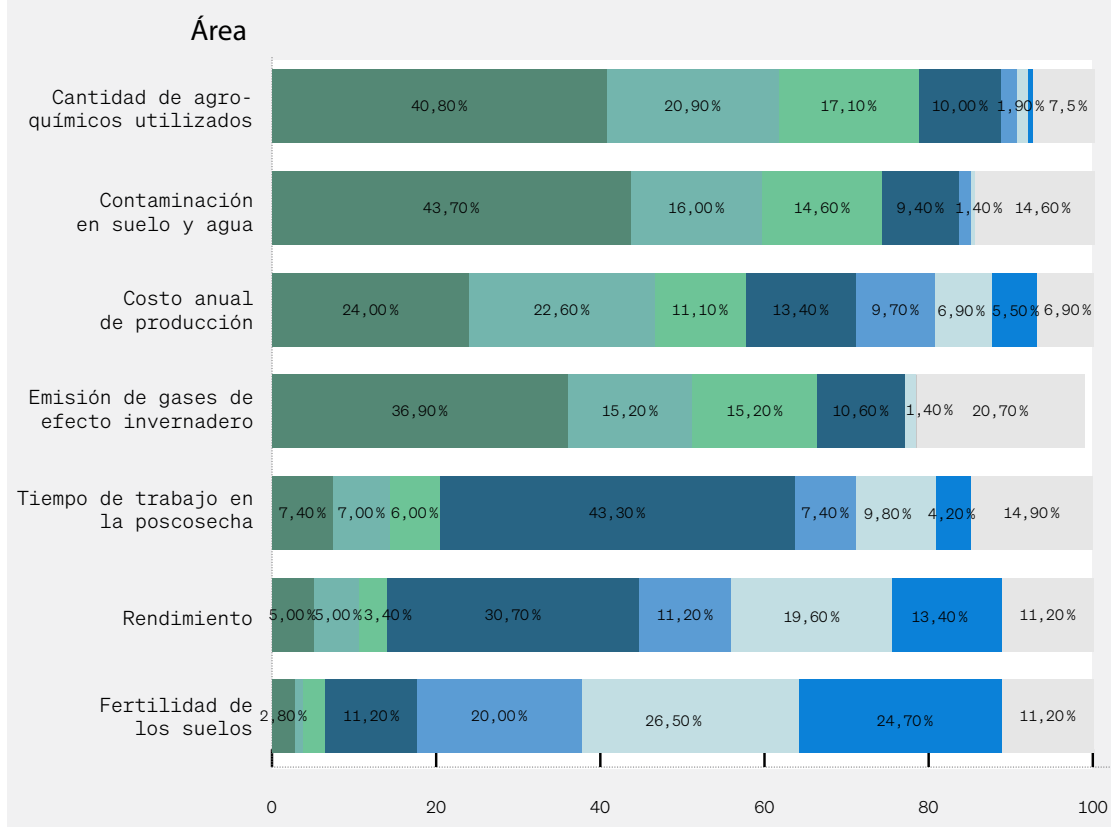


Gráfico 2

Percepción de los beneficios del uso de bioinsumos según quienes los adoptan

NOTA: entre quienes adoptan bioinsumos se incluyen productores/as agrícolas individuales, asociaciones y cooperativas agrícolas, empresas agrícolas y quienes realizan asesoramiento técnico para la producción agrícola.

FUENTE: elaboración propia en base a la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe.

Además, los bioinsumos pueden formar parte de paquetes tecnológicos compatibles con segmentos de mercado como el de orgánicos o agroecológicos, para los que existe una demanda creciente. En el caso de los bioplaguicidas, como no dejan residuos tóxicos, permiten el acceso a mercados de exportación de alta exigencia regulatoria. Muchos mercados de exportación, como la Unión Europea, son cada vez más exigentes en cuanto a los productos alimentarios que importan, poniendo límites más estrictos a los máximos de residuos (LMR) de plaguicidas que toleran. Una buena parte de los rechazos a las exportaciones se debe a que las autoridades sanitarias detectan valores de residuos de plaguicidas por encima de los LMR establecidos por el país importador o por el Codex Alimentarius. Estos rechazos afectan no solo la reputación de las empresas, sino también la de sus países de procedencia.

Por otro lado, la producción de bioinsumos en las fincas permite acceder a soluciones que no necesariamente se encuentran en el mercado. Cuando esta incluye el uso de derivados de la producción agropecuaria, permite una gestión inteligente y provechosa de lo que antes eran considerados “desechos” (economía circular).

Finalmente, cabe apuntar algunos beneficios potenciales en términos de progreso local. El desarrollo de bioinsumos permite valorizar la biodiversidad de las ecorregiones, en la medida en que los desarrollos locales siempre corren con ventaja por la mejor adaptabilidad de sus productos al entorno. Ello colabora a contrarrestar las ventajas de las economías de escala que podrían darse en el segmento industrial de la cadena de valor, favoreciendo la generación de eslabonamientos a nivel local. Así, la producción de bioinsumos podría contribuir a la descentralización de las cadenas agrícolas (ver Figura 8).

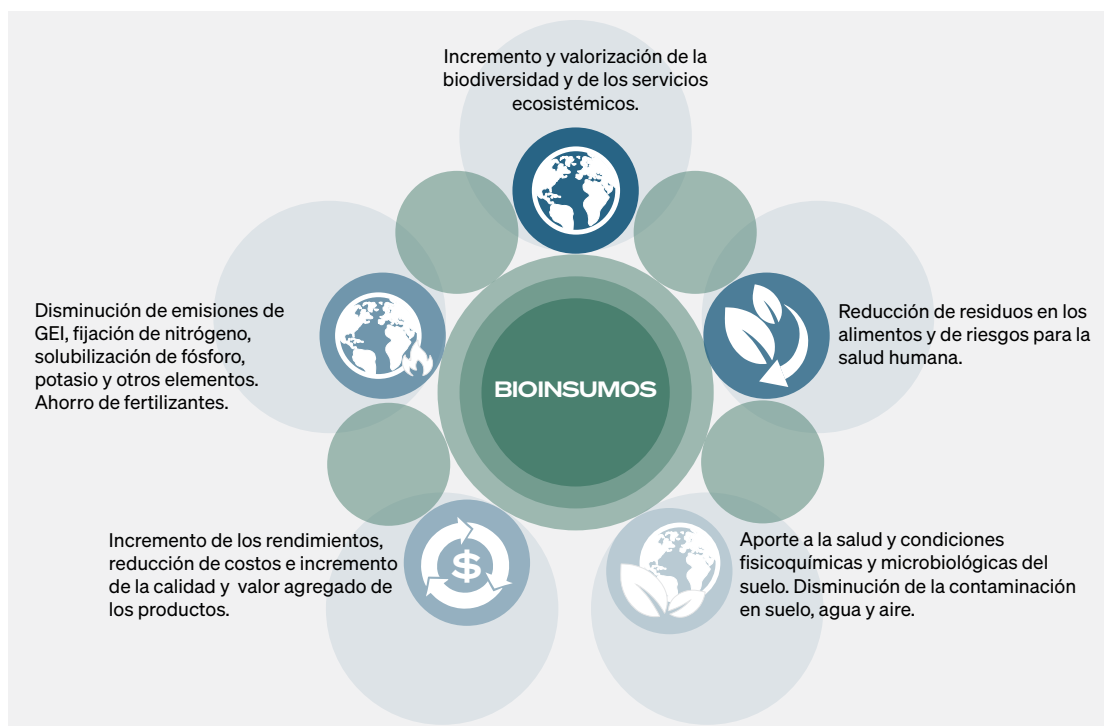


Figura 8
Beneficios de los bioinsumos

FUENTE: elaboración propia.

2.2 RIESGOS Y DESAFÍOS

La utilización de bioinsumos se enfrenta a una serie de riesgos que pueden desalentar su adopción. En primer lugar, debido al tiempo que tardan en hacer efecto los productos biológicos, puede suceder que, al comenzar a utilizarlos, se observe una merma temporal en los rendimientos, sobre todo cuando se incorporan bioinsumos en reemplazo de agroquímicos. En efecto, el 37% de quienes adoptan bioinsumos que participaron en la encuesta de este estudio percibe la reducción de la productividad como uno de los principales riesgos de incorporar nuevos bioinsumos.

En segundo lugar, los bioinsumos pueden perder efectividad de no ser almacenados o aplicados correctamente.¹³ Esto se complementa con otro elemento a considerar, que es la falta de regularidad en la calidad de los productos ofrecidos por algunas empresas proveedoras. Si bien esto último no tiene por qué ser una condición específica de esta industria, lo cierto es que su carácter emergente redundaría en la inexistencia de protocolos de calidad difundidos y en que las barreras a la entrada de nuevos actores sean menores, elevando así el grado de heterogeneidad en el cumplimiento de buenas prácticas de manufactura. Los bioinsumos basados en microorganismos con algunos tipos de formulaciones tanto líquidas como sólidas, que requieren refrigeración, sí presentan mayores riesgos de pérdida de calidad en el segmento de la logística de sus cadenas de valor. Como se verá más adelante, este riesgo fue percibido como una limitación importante por parte de quienes adoptan bioinsumos.

Por último, el riesgo de contaminación con organismos perjudiciales es identificado como uno de los principales peligros por el 24% de las personas encuestadas que declararon usar bioinsumos. Cuando la producción de bioinsumos basados en microorganismos se realiza sin supervisión técnica, sin los controles pertinentes, o cuando la liberación de especies exóticas se lleva a cabo sin la conducción de los ensayos correspondientes, pueden estar circulando patógenos para humanos o animales, plagas o especies invasoras.¹⁴

La magnitud del riesgo, así como la estrategia para su mitigación, dependen del tipo de cadena y el producto del que se trate. A continuación, se sintetiza la frecuencia y el nivel del riesgo involucrado, el beneficio esperado por el uso de ese producto y la recomendación para mitigar los riesgos (ver Cuadro 3).

¹³ Los problemas asociados al almacenamiento o la aplicación incorrectos de bioinsumos se retoman en la sección 3.2.1 de este documento.

¹⁴ Una especie invasora es un organismo que se desarrolla fuera de su área de distribución natural, en hábitats que no le son propios o con una abundancia inusual, produciendo alteraciones en la riqueza y diversidad de los ecosistemas.

Cuadro 3

Riesgos de contaminación, por tipología de cadena de valor y por tipo de producto

Tipología de cadena de valor/ Tipo de productos	Fertilizantes orgánicos	Microorganismos conocidos aislados	Invertebrados (artrópodos y nematodos)	Nuevos aislamientos de microorganismos	Bioinsumos basados en extractos biológicos purificados o biomoléculas purificadas
Tipología 1	Frecuencia de ocurrencia	Baja	Muy baja	Muy baja	No ocurre
	Nivel de riesgo	Bajo	Medio	Alto	Alto
	Nivel de impacto (beneficio del producto)	Alto	Alto	Alto	Dudoso
	Recomendación	Capacitación, asistencia técnica	Evitar	Transferencia de conocimiento/ tecnologías y regulación	Evitar
Tipología 2	Frecuencia de ocurrencia	Alta	Baja	Muy baja	Muy baja
	Nivel de riesgo	Bajo	Medio	Medio	Medio/Alto
	Nivel de impacto (beneficio del producto)	Alto	Alto	Alto	Bajo/medio
	Recomendación	Capacitación, asistencia técnica	Transferencia de conocimiento/ tecnologías y regulación	Transferencia de conocimiento/ tecnologías y regulación	No promover por su alto grado de complejidad tecnológica
Tipología 3	Frecuencia de ocurrencia	Baja	Baja	Medio	Medio
	Nivel de riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Nivel de impacto (beneficio del producto)	Alto	Alto	Alto	Alto
	Recomendación	-	Regulación para los productos no comerciales	-	Regulación para los productos no comerciales

FUENTE: elaboración propia.

En el caso de la tipología 1 de cadena –autoproducción de tipo artesanal–, se recomienda evitar la manipulación y producción de bioinsumos basados en microorganismos aislados, extractos biológicos y biomoléculas purificados. En cambio, la producción de fertilizantes orgánicos y de invertebrados benéficos no presenta riesgos significativos y pueden representar un beneficio importante para quienes la lleven adelante.

Las tipologías 2 y 3 de cadena de valor implican una producción de mayor complejidad. Para la tipología 2, en el caso de la producción de bioinsumos basados en microorganismos aislados, es necesario promover actividades de transferencia de conocimiento y tecnologías y establecer marcos regulatorios para la producción en finca, con el fin de minimizar riesgos. No resulta recomendable que quienes cuentan con las capacidades asociadas a esta tipología elaboren bioinsumos basados en extractos biológicos purificados o biomoléculas purificadas, dada su complejidad.

En cuanto a la tipología 3, en la que adquieren mayor relevancia las actividades de I+D, no se detectan riesgos considerables. Sin embargo, es necesario establecer marcos regulatorios para los productos no comerciales, potencialmente elaborados por grandes asociaciones de productores/as agrícolas o empresas agrícolas, para autoconsumo.

En relación con los desafíos, es crucial generar estudios sobre la rentabilidad de las inversiones, y con ello comprobar la viabilidad económico-financiera de las soluciones propuestas para producción y adopción en bioinsumos. Para ello, se debe realizar un análisis de costo-beneficio, así como identificar las condiciones o determinantes de la viabilidad financiera, tanto para la adopción en finca como para la producción o autoproducción (en forma de emprendimientos). La ausencia de información de impacto en costos o el vacío en relación con la viabilidad financiera son obstáculos para el escalamiento de la tecnología.



LIBERACION
LUNA ESCUELA LARVAS DE
Nº 24
FECHA DE COLECCIÓN 25.05.15
FECHA DE LIBERACION 18.05.15
Nº BANCOS 2
HORA COLECCIÓN 09
LETRA DE BANCOS A
LITROS DE PUPAS 9,9
CERA: VENA D - MIX NEW

LIBERACION
Nº 5
7,5

LIBERACION
LUNA ESCUELA LARVAS DE
Nº 23
FECHA DE COLECCIÓN 25.05.15
FECHA DE LIBERACION 16.05.15
Nº BANCOS 3
HORA COLECCIÓN 09
LETRA DE BANCOS F
LITROS DE PUPAS 6,5
CERA: VENA D - MIX NEW

LIBERACION
LUNA ESCUELA LARVAS DE
Nº 24
FECHA DE COLECCIÓN 25.05.15
FECHA DE LIBERACION 18.05.15
Nº BANCOS 2
HORA COLECCIÓN 16
LETRA DE BANCOS A
LITROS DE PUPAS 4
CERA: VENA D - MIX NEW



Capítulo 3

Mercado y estrategias privadas

El mercado de bioinsumos se halla en franca expansión en las últimas décadas, tanto en América Latina y el Caribe como en el mundo. No solo eso: es un mercado dinámico, abocado al desarrollo y elaboración de insumos biológicos.¹⁵

En este capítulo se describen, primero, las principales tendencias del mercado de bioinsumos en el mundo y en América Latina y el Caribe. La segunda sección pone el foco en los actores privados que integran este mercado en la región y en sus estrategias para la adopción, desarrollo y producción de bioinsumos. Se examinan las motivaciones que llevan a la adopción de bioinsumos, los principales obstáculos y limitaciones existentes para ello, y sus estrategias de aprovisionamiento.

Luego, se caracterizan las estrategias que despliegan quienes se dedican al desarrollo y producción de bioinsumos, tanto quienes los elaboran para autoabastecimiento, como quienes producen bioinsumos para su comercialización. Dentro de este último universo, se distingue entre las empresas que nacieron con los bioinsumos como negocio central, las que integraron el segmento –en particular, proviniendo de la producción agrícola– y las grandes empresas proveedoras de paquetes tecnológicos que ampliaron su portafolio incorporando bioinsumos

3.1 EL MERCADO DE BIOINSUMOS

El mercado global de bioinsumos alcanzó en 2021 los 10 600 millones de USD, y se prevé que en 2026 alcance los 18 500 millones de USD.¹⁶ De esta manera, si se considera que el gasto global en agroquímicos fue en 2021 de 245 000 millones de USD (Meticulous Research, 2023), los bioinsumos representarían más del 4 % del mercado.

¹⁵ El análisis de mercado realizado se basó principalmente en reportes de la compañía Mordor Intelligence, debido a la escasez de fuentes de información disponibles para el sector de bioinsumos. La compañía brinda datos de diferentes mercados con la misma base por tema, lo que permitió preparar un enfoque regional.

¹⁶ Estimación en base a datos de Mordor Intelligence (2020, 2022a).

Dentro de este mercado, los bioplaguicidas son los que tienen una mayor participación (un 54 %), seguidos por bioestimulantes (un 28%) y biofertilizantes (el 18%) (ver Gráfico 3). A su vez, entre los bioplaguicidas son los bioinsecticidas los que acaparan una mayor porción del mercado (el 50 %), seguidos por los biofungicidas, con un 38 %.

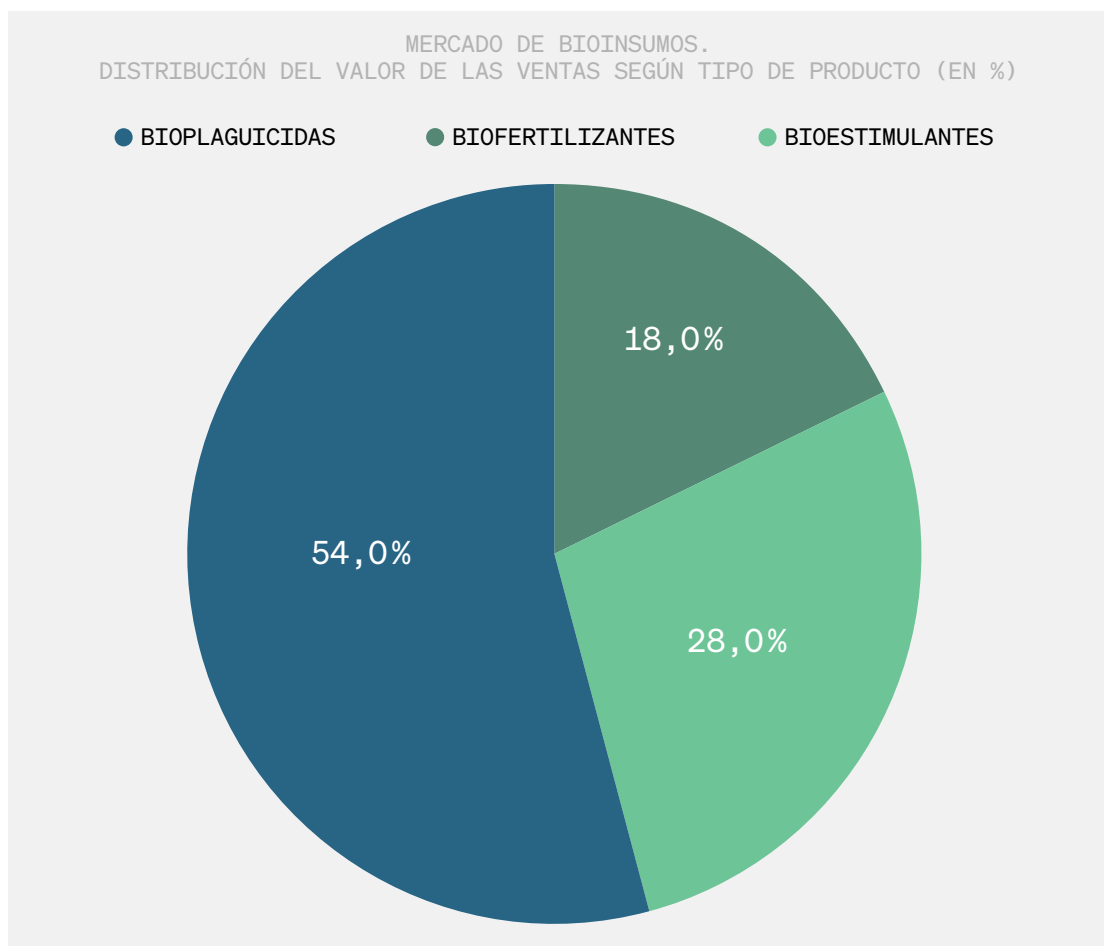


Gráfico 3

Mercado mundial de bioinsumos. Distribución del valor de las ventas (en porcentaje) según tipo de producto, 2021

FUENTE: elaboración propia en base a Mordor Intelligence 2020, 2022a.

Esto contrasta con el mercado de agroquímicos, en el que predominan los fertilizantes, los que representan el 70 % del mercado, mientras el 30 % lo ocupan los pesticidas.¹⁷ Sin embargo, la información disponible sobre el mercado de bioinsumos tiende a subestimar la participación de los fertilizantes orgánicos, dado el peso de la autoproducción en ese segmento.¹⁸ Así, según la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe un 64 % de quienes adoptan bioinsumos declaró también producirlos. Entre ellos/as, el 64 % indicó que elabora bioestimulantes o biofertilizantes, mientras que apenas un 20 % elabora bioplaguicidas (ver Cuadro 4).

¹⁷ Estimaciones en base a Meticulous Research, 2023; Allied Market Research, 2022; Fortune Business Insights, 2022; Mordor Intelligence, 2022a.

¹⁸ Véase apartado 1.3 de este documento sobre tipologías de cadenas de valor.

Cuadro 4

Tipo de bioinsumo producido según tipo de actor (en porcentaje del total de respuestas brindada por cada tipo de actor)

Tipo de bioinsumos	Empresa productoras de bioinsumos	Otras organizaciones	Adoptantes
Biofertilizantes y bioestimulantes	55,7%	51%	63,7%
Biofertilizantes microbianos para la fijación de nitrógeno	10,4%	9,3%	10,8%
Biofertilizantes microbianos para la solubilización de fósforo y/o potasio	10,4%	7,9%	8,1%
Biofertilizantes basados en micorrizas para movilizar nutrientes	4,5%	4,6%	7,1%
Abonos orgánicos (biol, bocashi, etc.)	4,1%	9,3%	18,1%
Otros biofertilizantes	6,0%	6,5%	4,7%
Microorganismos promotores del crecimiento vegetal	10,8%	8,8%	9,5%
Bioestimulantes microbianos u orgánicos para la tolerancia al estrés abiótico y/o mejora de la eficiencia nutricional*	9,5%	4,6%	5,4%
Bioplaguicidas	27,7%	34,5%	20,0%
Bioplaguicidas microbianos	13,0%	10,6%	7,3%
Bioplaguicidas de origen botánico u obtenidos a partir de algas	5,2%	6,0%	4,1%
Enemigos naturales predadores y/o parasitarios (nematodos, insectos, ácaros y otros arácnidos)	1,9%	6,9%	4,2%
Insectos plaga estériles (para la Técnica del Insecto Estéril)	0,2%	3,2%	0,2%
Bioplaguicidas bioquímicos (como las feromonas)	1,1%	3,2%	1,5%
Moléculas o microorganismos inductores de defensa en las plantas	6,3%	4,6%	2,7%
Otros	16,6%	14,4%	16,4%
Biorremediadores del suelo o el agua	4,8%	1,9%	5,1%
Biotransformadores de subproductos agropecuarios	2,6%	3,7%	2,7%
Biorestauradores del suelo	6,3%	4,6%	7,6%
Otro:	3,0%	4,2%	1,0%
*(extractos de algas, sustancias húmicas, quitosán, hidrolizados proteicos y sustancias afines)			

FUENTE: elaboración propia en base a la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe.

Por otro lado, se advierte que los cultivos en los que se aplican los diversos tipos de bioinsumos presentan un patrón claramente diferenciado: los biofertilizantes y bioestimulantes se emplean principalmente para granos y cereales (ver Gráfico 4), los bioplaguicidas son usados fundamentalmente en cultivos de frutas y vegetales (ver Gráfico 5). El protagonismo de los bioplaguicidas entre las frutas y verduras coincide con el mayor peso de las producciones orgánicas en esos mercados, así como con las mayores exigencias sobre niveles aceptables de residuos tóxicos de la demanda, en particular en los países más desarrollados, dado la mayor incidencia del consumidor final como destino de esas producciones.

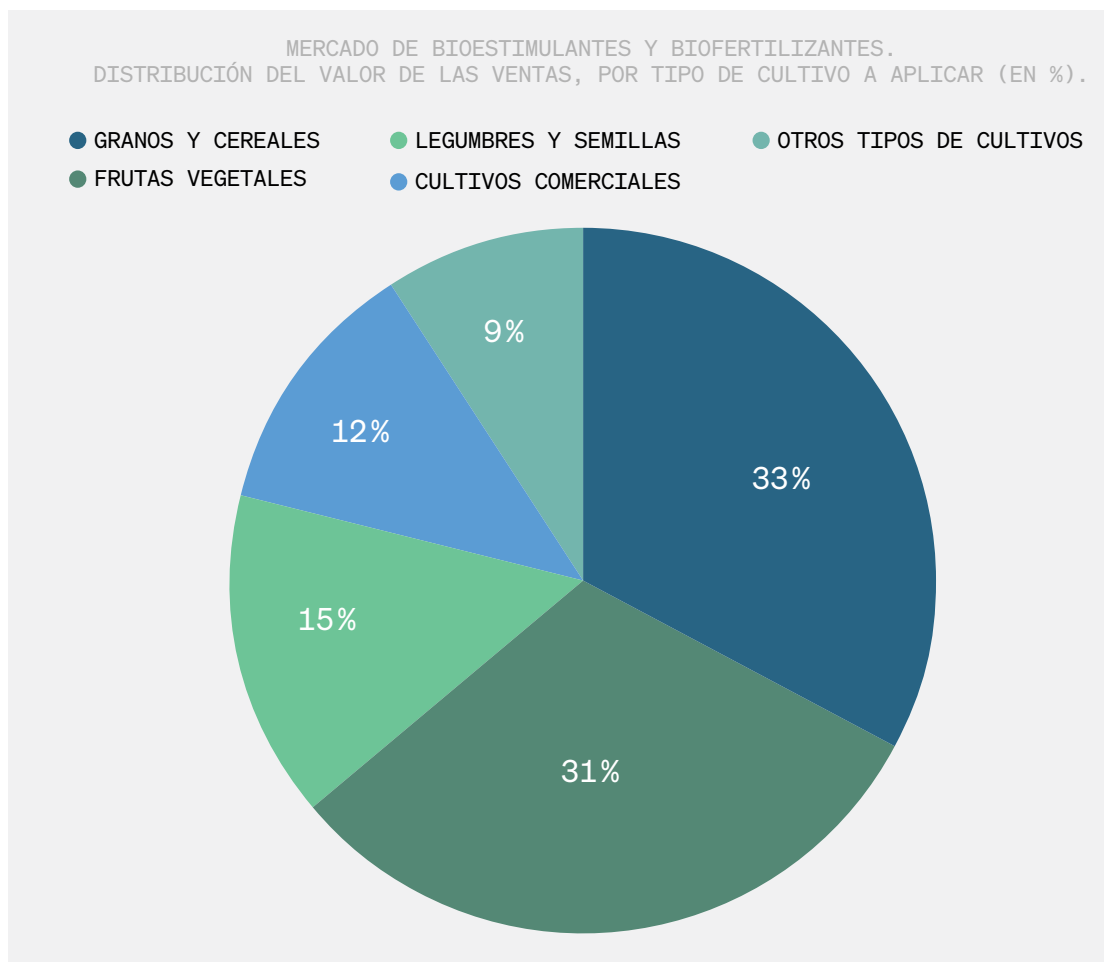


Gráfico 4

Mercado mundial de bioestimulantes y biofertilizantes. Distribución del valor de las ventas (en USD) según tipo de cultivo, 2020

FUENTE: Mordor Intelligence. 2020. *Global Biological Control Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025)*. Hyderabad (India).

En lo que respecta a la distribución territorial del mercado, América del Norte es la región de mayor relevancia, especialmente en el segmento de bioplaguicidas, representando el 45 % del total (en contraste al 38 % en los mercados de bioestimulantes y biofertilizantes). Por su parte, América Latina explica cerca del 10 % del mercado global de bioinsumos.¹⁹ Sin embargo, según otras fuentes (Perry Hope Partners, 2022a, 2022b, 2022c) ese porcentaje correspondería a bioplaguicidas, pero sería inferior para bioestimulantes y biofertilizantes.

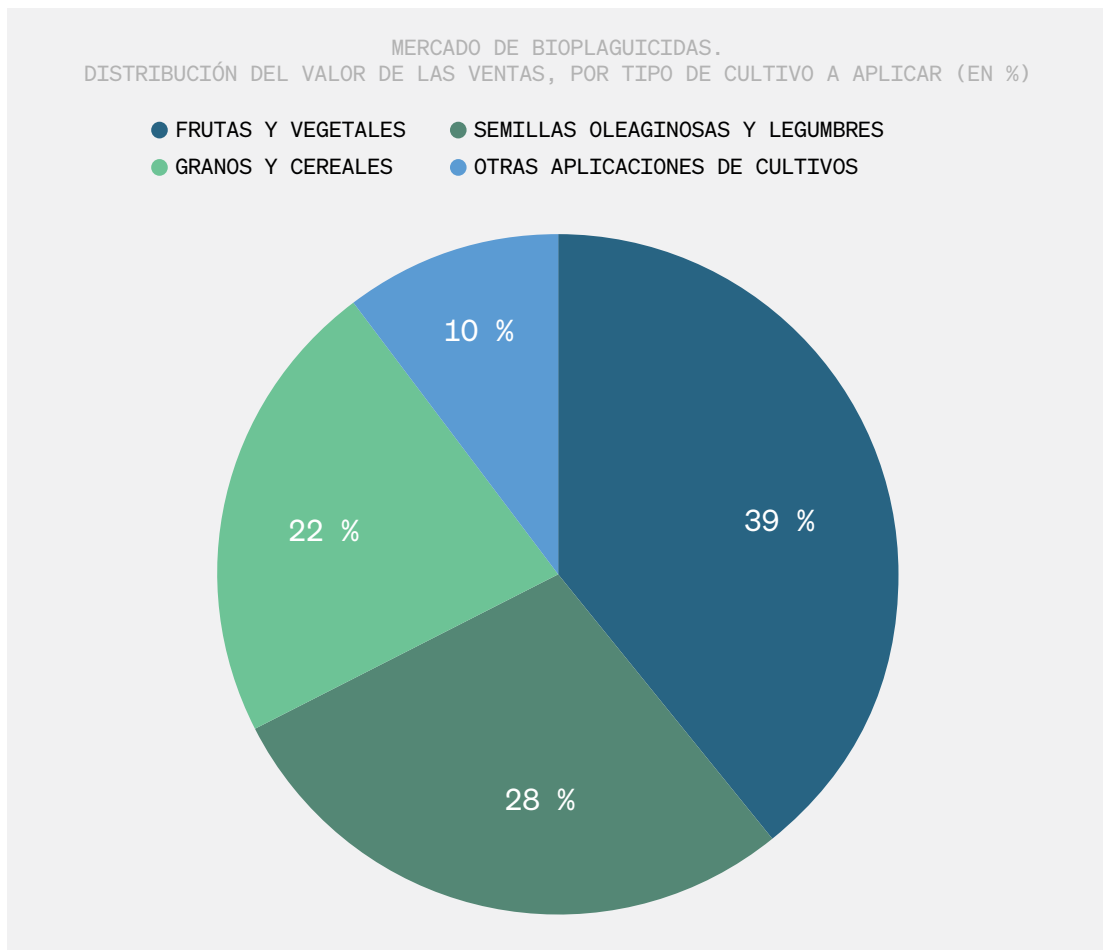


Gráfico 5

Mercado mundial de bioplaguicidas. Distribución del valor de las ventas (en USD) según tipo de cultivo, 2020

FUENTE: Mordor Intelligence. 2020. *Global Biological Control Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025)*. Hyderabad (India).

¹⁹ Estimación en base a Mordor Intelligence, 2020 y 2022a.

3.1.1. EL MERCADO DE BIOINSUMOS EN AMÉRICA LATINA

América Latina tuvo en 2021 un gasto aproximado en bioinsumos de 1100 millones de USD, lo que equivale a menos de un 3% del mercado de agroquímicos de la región, por debajo de la media global.²⁰ El mercado de bioinsumos en la región ha tenido una expansión considerable en los últimos años, con una tasa de crecimiento anual promedio del 15% (ver Gráfico 6). Este dato está en línea con los datos obtenidos por la encuesta realizada en el marco de este estudio, según la cual el 42% de las y los productores/as agrícolas incrementó su consumo de bioinsumos en al menos 15% en los últimos tres años.

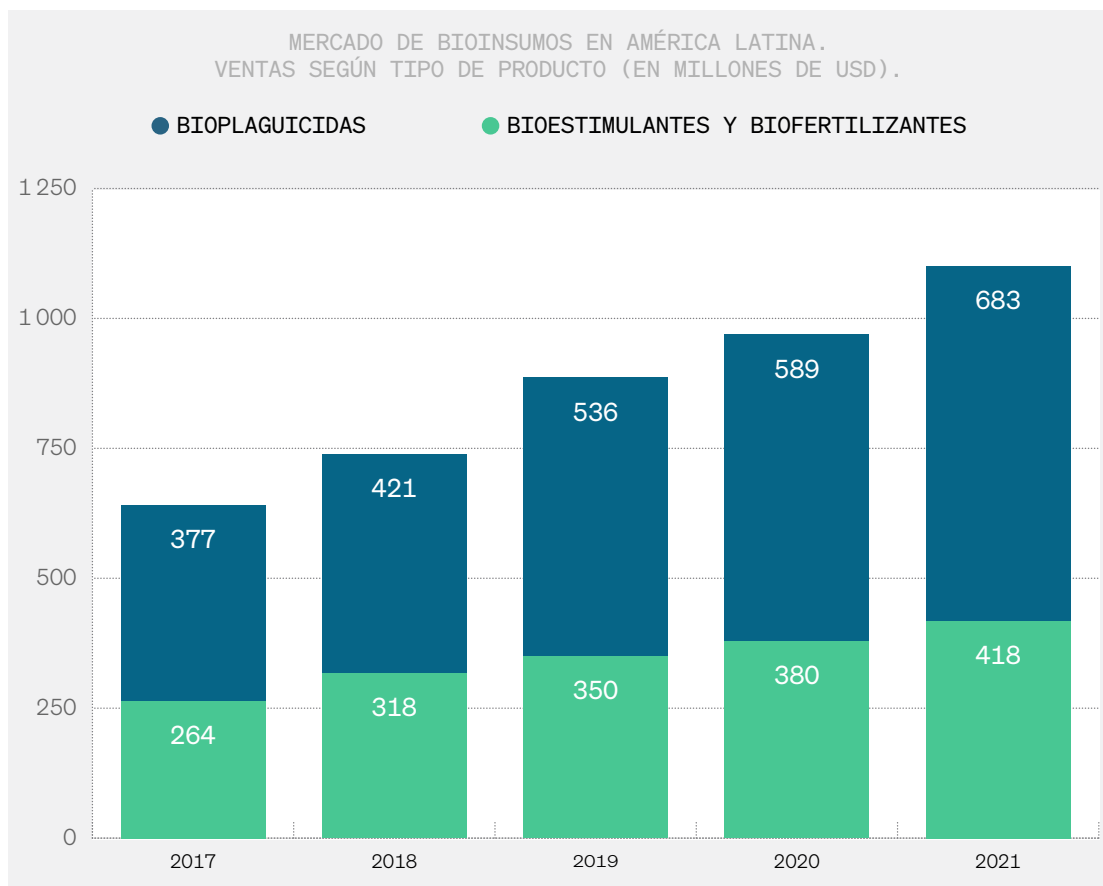


Gráfico 6

Mercado de bioinsumos América Latina. Evolución del valor de las ventas (en millones de USD) según producto, 2017-2021

FUENTE: Mordor Intelligence. 2020. *Global Biological Control Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025)*. Hyderabad (India) y Mordor Intelligence. 2022a. *Global Biostimulant Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2022-2027)*. Hyderabad (India).

²⁰ La fuente de información utilizada sobre el mercado de bioinsumos (Mordor Intelligence) no cuenta con información para América Latina y el Caribe en su conjunto, sino solo para América del Sur y América del Norte. Para estas regiones, solo cuenta con información a nivel país para los más relevantes. En este trabajo, para estimar el mercado de América Latina, se consideró a América del Sur y México, lo que significa que se subestimó el tamaño del mercado en América Latina y el Caribe.

Tal como ocurre en el mundo, los bioplaguicidas copan el mercado, pero en este caso acaparan alrededor del 62 % (Mordor Intelligence, 2020). Las fuentes difieren de un modo significativo en cuanto al tipo de bioplaguicida predominante: según Mordor Intelligence (2020), los bioinsecticidas lideran con una cuota de mercado del 57%, seguidos por los biofungicidas, con un 34%; en cambio, Meyer et al. (2022) estiman que en el Brasil –el mercado más importante de la región– la distribución es más homogénea: los bionematicidas concentran el 25% de las ventas, seguidos por los bioinsecticidas y biofungicidas, con un 23% y 22%, respectivamente.

La región también sigue la tendencia global en lo que refiere al cultivo de destino de los distintos tipos de bioinsumos: los bioplaguicidas son más utilizados en cultivos de frutas y vegetales, mientras que los bioestimulantes y biofertilizantes en cultivos extensivos como soja, maíz y trigo. De ahí que el Brasil lidere el mercado sudamericano de este segmento con el 56%, seguido por la Argentina con el 33% (Mordor Intelligence, 2022b).

El desarrollo del mercado regional también se observa en el número de productos registrados, la cantidad de empresas productoras y la diversidad de cultivos tratados (ver Cuadro 5).

Cuadro 5**Bioinsumos registrados, empresas productoras y cultivos tratados en países seleccionados de América Latina**

País	Productos registrados	Empresas ¹	Área tratada/cultivos tratados
Argentina	60 bioinsumos para el control de plagas +1 000 bioinsumos para fertilización ²	283 empresas cuentan con registros vigentes de bioinsumos	Biofertilizantes de producción nacional registrados por cultivo: soja (51,7 %), trigo (10 %), maíz (9,7 %), maní (4,6 %), trébol (4,4 %) y alfalfa (4,4%) ¹
Brasil	542 bioinsumos para el control de plagas 517 inoculantes ³	580 empresas cuentan con registros vigentes de biofertilizantes, inoculantes o fertilizantes orgánicos 121 empresas que cuentan con registros vigentes de bioplaguicidas	Se aplican inoculantes en 36 cultivos ³ Área tratada con bioinsumos: soja (70 %), maíz (16 %) y caña de azúcar (7 %) ⁴ Área tratada con bioplaguicidas: soja (41 %), caña de azúcar (24 %) y maíz (11%) ⁵
Colombia	375 bioinsumos registrados ²	245 empresas productoras de bioinsumos cuentan con registros vigentes	Se aplican bioinsumos en 94 cultivos ¹
Costa Rica	217 bioestimulantes 47 plaguicidas botánicos 47 plaguicidas microbiológicos 55 invertebrados ¹	149 empresas cuentan con registros activos de bioinsumos	Sin datos
México	Sin datos	444 empresas productoras de bioinsumos	Sin datos
Nicaragua	250 bioinsumos registrados ¹	72 empresas productoras de bioinsumos cuentan con registros vigentes	Sin datos

NOTA: a partir de la información pública sobre empresas con registros de bioinsumos vigentes, publicada o solicitada a las entidades regulatorias de algunos países en el cuadro, fue posible separar las empresas productoras de las comercializadoras, en cuyo caso se muestran las cantidades de empresas productoras (Colombia y Nicaragua). En otros casos (Argentina, Brasil y Costa Rica) no fue posible separar las empresas productoras de las comercializadoras, en cuyo caso se muestran las cantidades de empresas totales con registros vigentes (productoras y comercializadoras). En el caso de México, se muestran las empresas listadas en la Plataforma Mexicana de Productores de Bioinsumo, por lo cual no se hace referencia a la vigencia de sus registros.

FUENTE: (1) Estimaciones en base a información pública (publicada o solicitada, según corresponda) de los organismos regulatorios de cada país, a noviembre de 2022. (2) Presentación realizada por los organismos regulatorios en el Taller Latinoamericano Estrategias institucionales diferenciadas para la regulación de bioinsumos (julio de 2023). (3) Información disponible en la aplicación bioinsumos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento de Brasil, actualizada a junio de 2023. (4) Kynetec, 2022. (5) Meyer et al., 2022.

En ese sentido, el Brasil es un caso paradigmático, pues permite dar cuenta del acelerado crecimiento y desarrollo del sector en las últimas décadas. En ese país se registran 1059 activos de base biológica,²¹ lo que lo convierte en el país latinoamericano con el mayor número de registros. Se estimó que, para la campaña 2021-22, el área total tratada con bioinsumos fue de 92 521 millones de hectáreas, de las cuales el 70% correspondieron al cultivo de soja, seguido por el maíz de segunda cosecha y la caña de azúcar, con un 16% y 7%, respectivamente (Kynetec, 2022). El 28% del área cultivada con soja en la campaña 2021-22 fue tratada con bioinsumos, un crecimiento de siete puntos porcentuales con respecto al período anterior. Por su parte, el uso de bioinsumos en el maíz en contraestación se duplicó, pasando del 13% al 26% (Kynetec, 2022).

De acuerdo con Meyer *et al.* (2022), el mercado de bioplaguicidas en el Brasil creció a una tasa anual del 42% entre 2019 y 2020, muy por encima de la media mundial. En marzo de 2022 se contabilizaron 502 bioplaguicidas con registro activo en el país, los cuales actúan sobre unas 200 dianas biológicas. Entre ellos, se destacan los registros de bioinsecticidas, que representan cerca de la mitad de los registros de bioplaguicidas en el Brasil. No obstante, como se indicó anteriormente, en términos de volumen de ventas los bionematicidas serían los más importantes, con un 15% del total de bioplaguicidas registrados.

Detrás de esta vertiginosa dinámica expansiva, subyace también una marcada aceleración del ritmo con que se despliega la oferta de nuevos productos. Así, el número de bioinsumos registrados entre 2020 y 2021 más que duplicó el promedio de los cuatro años previos, y multiplicó unas nueve veces el promedio correspondiente al período entre 2010 y 2014 (ver Gráfico 7). Este dato está en línea con los resultados de la encuesta realizada para este estudio, según la cual el 58% de quienes adoptan bioinsumos aumentó el uso de estos en los últimos tres años.

21 Información disponible en la aplicación bioinsumos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento de Brasil, actualizada a junio de 2023.

Registro de Agrotóxicos y Afines de Bajo Riesgo

(Biológicos, Microbiológicos, Semioquímicos, Bioquímicos, Extractos Vegetales, Reguladores de Crecimiento o Agricultura Orgánica)

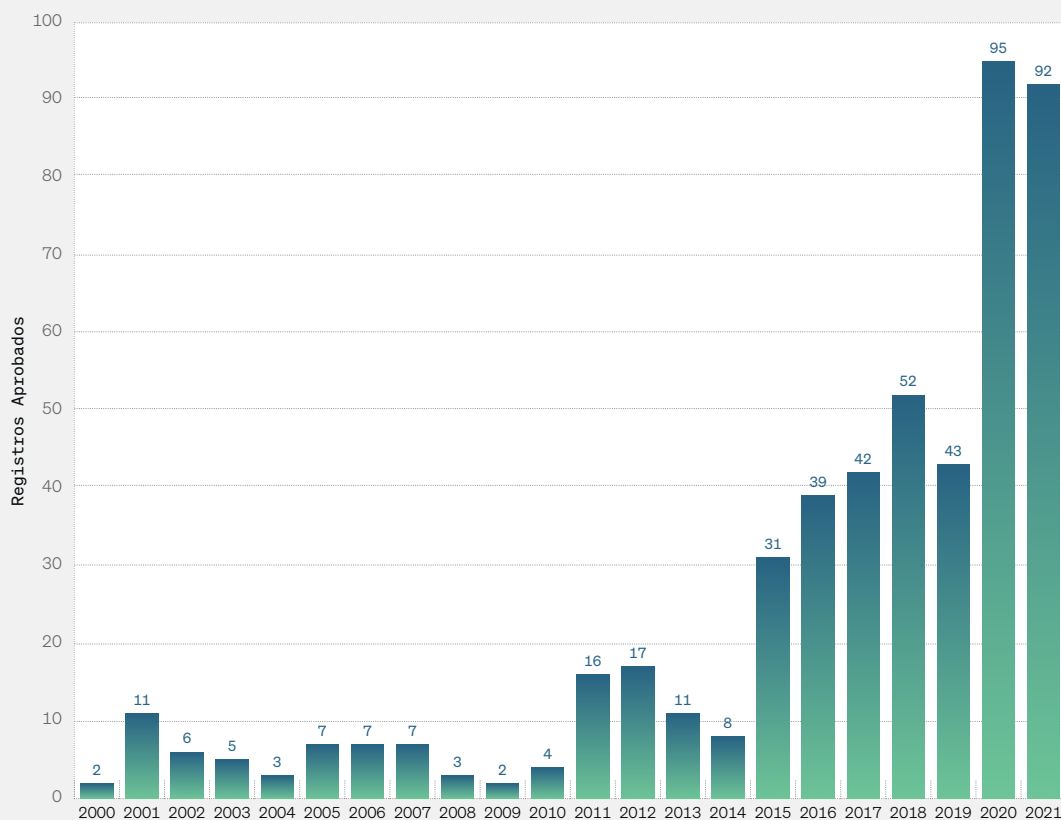


Gráfico 7

Registro de insumos de bajo impacto en el Brasil, 2000-2021

FUENTE: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento de Brasil (MAPA), 2021.

3.2. ESTRATEGIAS PRIVADAS PARA LA ADOPCIÓN Y DESARROLLO DE BIOINSUMOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Tal como se indicó en el apartado anterior, la región presenta un mercado dinámico, y en expansión, de bioinsumos. Para entenderlo mejor, es preciso poner el foco en los actores que lo integran, tanto quienes adoptan bioinsumos como quienes los desarrollan y producen.

3.2.1. La adopción de bioinsumos: motivaciones y limitaciones

Los agricultores que adoptan el uso de bioinsumos tienen diversas motivaciones, entre las que se destacan aquellas asociadas, por un lado, a prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente y, por el otro, con la posibilidad de reducir los costos de producción (ver Cuadro 6). En efecto, según datos de la encuesta realizada para este estudio, aproximadamente el 80% de quienes adoptan bioinsumos²² declaró hacerlo para preservar la fertilidad y el equilibrio

²² Productores/as individuales, asociaciones, cooperativas y empresas agrícolas.

biológico de los suelos; un 66% como parte de una búsqueda de producir de una forma más amigable con el medio ambiente; y el 64% para realizar una producción más segura para la salud del personal de campo. Por otro lado, poco más de la mitad señaló que su principal motivación era reducir costos, mientras un 41% dijo que esta era para incrementar el rendimiento de la producción.

Cuadro 6

Principales motivos para la adopción de bioinsumos (porcentaje de respondientes que consideraron el motivo “importante” o “muy importante”)

Motivos señalados como importantes o muy importantes por los adoptantes		Porcentaje
Para preservar mejor la fertilidad y el equilibrio biológico de los suelos		79,5%
Es parte de un cambio integral en la forma de producir, en la búsqueda de producir de una forma más amigable con el medio ambiente		65,8%
Para realizar una producción más segura para la salud del personal de campo		63,9%
Para bajar el costo de producción		52,2%
Para incrementar el rendimiento de la producción		41,5%
Por la generación de resistencia de las plagas y enfermedades a los plaguicidas de síntesis química		37,0%
Al no utilizar agroquímicos, no es necesario esperar un período entre la última aplicación y la cosecha, por lo cual, se cuenta con más tiempo para comercializar los productos		18,5%
Por transición de producto a otro mercado		16,1%
Por exigencia de la demanda actual		15,6%
Para asegurar la disponibilidad de insumos (por dificultades para acceder a productos agroquímicos)		12,7%
Porque no existen productos agroquímicos para el control de ciertas plagas		6,8%
Por tradición (así lo hacían las personas que explotaban anteriormente las tierras)		5,4%
Otro		0,9%
No sabe / no responde		0,5%

NOTA: “adoptantes” incluye productores/as agrícolas individuales, cooperativas agrícolas, asociaciones de productores agrícolas, empresas agrícolas y asesores/as técnicos/as de productores agrícolas que utilizan bioinsumos.

FUENTE: elaboración propia en base a la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe.

En cuanto a las limitaciones para la adopción de bioinsumos, un primer elemento a considerar es que se trata de insumos agrarios de desarrollo relativamente reciente, en comparación los agroquímicos, de uso extendido en el mundo. En consecuencia, aún no hay suficiente información sobre los bioinsumos disponibles en el mercado. Esto no solo es percibido por los/as adoptantes (entre quienes el 57,1 % consideró que la falta de información era el principal factor limitante), sino también por los/as oferentes de bioinsumos, de los cuales una vasta mayoría (un 80,4 %) opinó en el mismo sentido (ver cuadros 7 y 8).

Cuadro 7

Factores que dificultan la incorporación de bioinsumos, desde la perspectiva de quienes los adoptan (porcentaje de respondientes que consideraron el factor como “importante” o “muy importante”)

Motivos señalados como importantes o muy importantes por los adoptantes		Porcentaje
No cuento con información suficiente sobre la oferta y/o eficacia de los bioinsumos disponibles en el mercado		57,1%
No siempre cuento con personal capacitado para asesorarme y/o llevar adelante la aplicación de bioinsumos		53,7%
No cuento con proveedores cercanos para ciertos bioinsumos que me interesan		48,2%
La calidad de los bioinsumos ofrecidos en el mercado no es constante en el tiempo		43,1%
No cuento con la infraestructura necesaria para el almacenamiento adecuado de los bioinsumos a campo		42,7%
Lleva tiempo percibir los efectos positivos de los bioinsumos		40,8%
Hay discontinuidad en la oferta de bioinsumos		40,4%
Los proveedores de bioinsumos no brindan crédito o facilidades de pago		37,6%
Los bioinsumos demandan más horas de trabajo para su aplicación		34,2%
Los bioinsumos incrementan los costos de producción		21,5%
En el corto plazo los bioinsumos generan una caída en el rendimiento		20,1%

NOTA: “adoptantes” incluye productores/as agrícolas individuales, cooperativas agrícolas, asociaciones de productores agrícolas, empresas agrícolas y asesores/as técnicos/as de productores agrícolas que utilizan bioinsumos.

FUENTE: elaboración propia en base a la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe.

Cabe destacar que, frente a esta falta de información, los/as productores/as agropecuarios/as hacen uso de una variedad de mecanismos de aprendizaje, destacándose aquellos que incluyen comprobaciones prácticas. De hecho, los resultados de la encuesta realizada para este estudio indican que la mayor parte de quienes adoptan bioinsumos comprobó su efectividad en otras fincas (59%), asistiendo a campos demostrativos (38%) o bien a demostraciones ofrecidas por los/as proveedores/as (32%).

El carácter emergente de los bioinsumos también incide en las habilidades y conocimientos los/as profesionales de la producción agrícola, quienes se formaron en el paradigma de la llamada “Revolución verde”. Incluso, para muchos/as productores/as, el único asesoramiento al que acceden proviene de quienes se encargan de la distribución de agroquímicos. En este sentido, resulta interesante notar que tanto adoptantes (53,7%) (ver Cuadro 7) como oferentes de bioinsumos (66%) (ver Cuadro 8) creen la falta de personal capacitado es el segundo factor limitante más importante para el uso sostenido de bioinsumos.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que la primacía del control químico ha conllevado el predominio de una lógica del tratamiento (de efecto inmediato) por sobre una lógica de la prevención, propia de los bioinsumos. Por lo general, estos últimos requieren más tiempo para lograr su efecto. Además, ante una alta concentración de plagas, frecuentemente presentan menor eficacia que los plaguicidas de síntesis química (en tanto y en cuanto no hayan generado resistencia). En esta línea, cabe destacar que el 40% de quienes adoptan bioinsumos y cerca de la mitad de los/as oferentes indica que un obstáculo de peso para la adopción de bioinsumos es el tiempo que tardan en percibirse sus efectos positivos.

Cuadro 8

Factores que dificultan la incorporación de bioinsumos, desde la perspectiva de las y los oferentes (porcentaje de respondientes que consideraron el factor como “importante” o “muy importante”)

Motivos señalados como importantes o muy importantes por los oferentes		Porcentaje
Los productores agrícolas no cuentan con información suficiente sobre la oferta y/o eficacia de los bioinsumos disponibles en el mercado		80,4%
Los productores agrícolas no siempre cuentan con personal capacitado para asesorarlos y/o llevar adelante la aplicación de bioinsumos		66,0%
La calidad de los bioinsumos ofrecidos en el mercado no es constante en el tiempo		59,8%
Los productores agrícolas no cuentan con proveedores cercanos para ciertos bioinsumos que les interesan		49,5%
Lleva tiempo percibir los efectos positivos de los bioinsumos		47,4%
Hay discontinuidad en la oferta de bioinsumos		41,7%
Los productores agrícolas no cuentan con la infraestructura necesaria para el almacenamiento adecuado de los bioinsumos a campo		40,6%
Los bioinsumos demandan más horas de trabajo para su aplicación		23,7%
Los bioinsumos incrementan los costos de producción		14,3%
En el corto plazo los bioinsumos generan una caída en el rendimiento		14,6%

NOTA: “oferentes” incluye empresas que producen y/o comercializan bioinsumos.

FUENTE: elaboración propia en base a la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe.

La información reseñada indica que el mayor costo al corto plazo conspira contra la obtención de beneficios al mediano y largo plazo. Esto se ve reforzado por el hecho de que algunas soluciones biológicas son incompatibles con ciertos tratamientos químicos, volviendo imposible su aplicación simultánea. A ello se pueden agregar algunas restricciones operativas adicionales, como la necesidad de aplicación nocturna de los bioinsumos basados en microorganismos sin formulaciones especiales, a los que la radiación solar inactiva; o las dificultades para la mecanización de la aplicación de ciertos enemigos naturales como artrópodos y nematodos, que dificultan su uso en grandes extensiones.

A su vez, cabe apuntar que la adopción de productos basados en microorganismos sin formular o con algunos tipos de formulaciones líquidas o sólidas, tiende también a demandar, por parte de quienes adoptan bioinsumos, la disponibilidad de sistemas de almacenamiento y distribución en frío. De ahí que un 42,7% manifiesten que este factor dificulta su adopción (ver Cuadro 7).

3.2.2. Estrategias de desarrollo y producción de bioinsumos

Una gran proporción de los adoptantes produce, al menos en parte, sus propios bioinsumos (ver Gráfico 8). En el caso de la tipología 1 de cadena de valor,²³ la estrategia radica en hacer un aprovechamiento circular de los “desechos” generados en las actividades productivas, por lo que no se presentan grandes obstáculos para emprender ese camino. Incluso cuando el acceso a capacitaciones resulta deseable para maximizar el aprovechamiento de esta alternativa tecnológica, un 65% de los/as productores/as agrícolas que elaboran sus propios bioinsumos y que fueron encuestados para este estudio manifiestan haber aprendido a hacerlo de manera autodidacta.

A su vez, la región cuenta con diversas experiencias de interacción entre, por un lado, productores medianos a grandes, empresas agrícolas, cooperativas o asociaciones de productores que llevan adelante actividades encuadrables en la tipología 2; y, por el otro, instituciones de ciencia y tecnología y/o empresas desarrolladoras de bioinsumos que realizan actividades propias de la tipología 3. Estos esquemas incluyen la asistencia técnica a productores/as para asegurar buenas prácticas para la elaboración de bioinsumos. También pueden abarcar la prestación de servicios de control de calidad, concentración e identificación de los microorganismos. El rol de productoras en la “última milla” que asumen las asociaciones y cooperativas agrícolas, es fundamental para facilitar el acceso seguro de pequeños/as productores/as a una cartera más amplia de bioinsumos, en particular en zonas alejadas, donde los costos logísticos desalientan la llegada de fuentes de aprovisionamiento privadas.

²³ Para una descripción de las tipologías de cadena de valor presentes en este estudio, véase el capítulo 1.

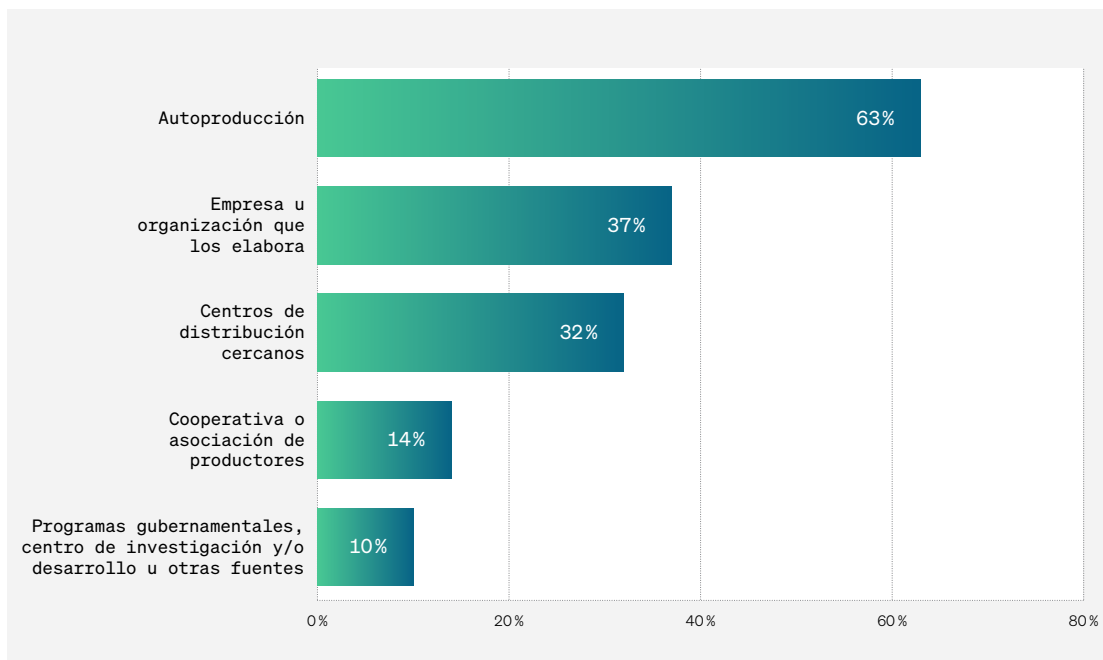


Gráfico 8

Principales fuentes de aprovisionamiento de bioinsumos que utilizan las y los adoptantes en América Latina y el Caribe

FUENTE: elaboración propia en base a la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe.

En Costa Rica, por ejemplo, la empresa productora y comercializadora de piña Nicoverde elabora bioinsumos basados en hongos y bacterias en una planta de alta complejidad tecnológica y produce biofermentos, entre otros procesos de economía circular. La firma cuenta con bioinsumos registrados, que comercializa dentro y fuera del circuito de quienes le proveen piña, pero con un descuento del 50% para sus proveedores (alrededor de 120 pequeños productores y productoras).

Nicoverde también brinda otros servicios a quienes la abastecen de materia prima: ensayos microbiológicos y fisicoquímicos del suelo gratuitos, asistencia técnica, capacitación y transferencia de tecnología, incluyendo la producción de bioinsumos. Además, la empresa implementó un proyecto, con apoyo internacional, para dotar a dos cooperativas agrícolas locales de tecnología para el montaje y puesta en funcionamiento de biofábricas, a la que les provee los insumos necesarios para que produzcan bioinsumos a gran escala.

Otro ejemplo es la Red de Asociaciones y Productores para el Desarrollo Agroecológico y la Recuperación de Ecosistemas (REDAPRODARE) de El Salvador, que produce bioplaguicidas, nematodos entomopatógenos y biofertilizantes. La Red se conformó a partir del montaje del Centro de Alternativas Agroecológicas, en 2014, con aproximadamente un millón de USD provistos por el Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Tanto el conocimiento como las cepas utilizadas para producir los primeros bioinsumos fueron transferidos por dos instituciones científico-tecnológicas de Cuba, el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) y el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), con el apoyo del gobierno salvadoreño.

El personal del Centro no solo desarrolla y produce bioinsumos, sino que además realiza actividades de extensionismo: su personal técnico visita a los/as productores/as de la REDAPRODARE y los/as asesoran en la adopción de soluciones biológicas. Si bien, en un principio, el centro proveía bioinsumos solo a los/as productores/as de la Red, actualmente sus productos son aplicados en todo el país, ya que aprovisionan proyectos gubernamentales o de otras organizaciones (como la FAO).

Otro esquema asociativo es el de SoluBio, en el Brasil. Esta empresa se especializa en la comercialización de soluciones completas y a medida para la producción de bioinsumos en finca, que incluyen tecnología integrada, equipos, insumos, servicios de control de calidad, capacitación y asistencia técnica. La empresa –que recientemente inauguró su propio centro de I+D, liderado por profesionales que se habían desempeñado previamente en la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – desarrolla el proyecto completo para la instalación y puesta en funcionamiento de una biofábrica automatizada para explotaciones con una escala mínima de 300 hectáreas. La fábrica, cuya tecnología de procesos está patentada, es entregada en comodato a cambio de un compromiso de adquirir de SoluBio todos los insumos necesarios para la producción de bioinsumos por un período de entre tres y cinco años.

Finalmente, quienes se desenvuelven en la tipología 3 de la cadena de valor suelen explorar tres grandes ventanas de oportunidad. En primer lugar, buscan sustituir soluciones de insumos agroquímicos allí donde resulta necesario responder a las crecientes exigencias sobre los límites máximos de residuos tóxicos que tienen o que presumiblemente tendrán los mercados de destino para las exportaciones de alimentos. En segundo lugar, intentan proveer soluciones a adversidades agrícolas para los cuales los agroquímicos disponibles no dan respuesta. Por último, buscan brindar respuestas más efectivas a los productores de cultivos orgánicos.

En este caso, la brecha temporal existente entre la investigación, el desarrollo de los productos y la producción a escala industrial hace que muchas ideas potencialmente innovadoras o prototipos de productos caigan en el llamado "valle tecnológico de la muerte" (Islam, 2017; Jucevicius *et al.*, 2016).

Esta "barrera de entrada"²⁴ se también eleva por los costos (económicos y financieros) implicados. Según las empresas desarrolladoras de bioinsumos que participaron de la Encuesta, los principales obstáculos identificados están asociados a aspectos regulatorios y a los costos de inversión (ver Cuadro 9). Los costos asociados a aspectos regulatorios abarcan los ensayos necesarios y los tiempos para la obtención de registros, además de la dificultad de interactuar con organismos estatales que no cuentan con las capacidades para discernir los criterios a considerar para evaluar bioinsumos en lugar de agroquímicos.²⁵ Los costos de inversión se refieren, por otro lado, al equipamiento necesario, tanto para las actividades de I+D como para el escalamiento productivo.

²⁴ De acuerdo con Olson (2015), para obtener un bioinsumo microbiano en los Estados Unidos de América se requieren 10 millones de USD; su desarrollo puede tardar entre 4 y 6 años. De acuerdo con Gómez *et al.* (2018), en Colombia el costo puede reducirse a entre 1 y 3 millones de USD.

²⁵ Sobre las regulaciones para el registro de bioinsumos, véase el capítulo 4 de este informe.

Cuadro 9

Factores que dificultan el desarrollo, producción y comercialización de bioinsumos, desde la perspectiva de las y los oferentes (porcentaje de respondientes que consideraron el factor como “importante” o “muy importante”)

Motivos señalados como importantes o muy importantes por los oferentes		Porcentaje
Obtener un registro comercial toma mucho tiempo		81,1%
El costo del equipamiento para investigación y desarrollo es elevado		75,7%
El costo del equipamiento de la planta productiva es elevado		74,6%
Los entes regulatorios no cuentan con el conocimiento necesario para evaluar las solicitudes de registro		66,7%
El costo de los ensayos para el registro de los productos es elevado		64,6%
No existe una normativa adecuada para mis productos		61,5%
La disponibilidad de personal formado para investigación y desarrollo es escasa		55,8%
El costo del personal formado para investigación y desarrollo es elevado		53,5%
La disponibilidad de personal técnico / operarios de planta capacitados es escasa		45,5%
El costo del personal técnico / operarios de planta capacitados es elevado		40,4%
El costo de los insumos (como los medios de cultivo, los componentes de las formulaciones, etc.) es elevado		37,8%
El costo de las cepas disponibles es elevado y/o éstas son escasas		32,6%

NOTA: “oferente” incluye a empresas productoras de bioinsumos.

FUENTE: elaboración propia en base a la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe.

Habida cuenta de la magnitud de las inversiones necesarias para abarcar los eslabones de I+D, el acceso a financiamiento es una ventaja competitiva de las grandes empresas del sector, tanto para aquellas que nacieron orientadas a bioinsumos como, sobre todo, para las que proveen los paquetes tecnológicos de semillas y agroquímicos (y, más recientemente, gestión del conocimiento). Muchas de estas empresas han emprendido en los últimos años estrategias de innovación abierta con *startups* y PyMEs en las que, además, aprovechan su experticia en la formulación y sus activos complementarios. Adicionalmente, varias de ellas han llevado adelante una política de adquisiciones para ampliar su gama de productos y aumentar su presencia en el mercado global de bioinsumos.²⁶ Estas empresas apuntan fundamentalmente a soluciones que atiendan mercados de gran escala y hoy suelen limitarse al desarrollo de bioinsumos compatibles con los agroquímicos que forman parte de los paquetes tecnológicos.

²⁶ En el Anexo 5 de este documento se presenta un listado de adquisiciones y fusiones de los últimos años entre grandes compañías agroquímicas y empresas productoras de bioinsumos.

Muy diferente es el caso de startups de base científica e, incluso, PyMEs de alto perfil innovador, aunque estas últimas puedan llegar a contar con la ventaja de contar con un flujo de negocios existente. Su estrategia principal es el descubrimiento de microorganismos desconocidos, o poco explorados por la comunidad científica, para formular bioinsumos inéditos. El acceso a financiamiento es un obstáculo de peso: son pocas las empresas que cumplen con las condiciones de retorno económico esperadas por los fondos de inversión de capital de riesgo, incluso para los cultivos que representan mercados de gran escala. Esto se debe, por un lado, a que muchos bioinsumos dependen de las condiciones agroecológicas y ambientales para poder desempeñar su función. Por otro lado, existen límites a la protección de la propiedad intelectual de bioinsumos que se basan en micro o macroorganismos (ver sección 4.1.2). Por ello, para estos actores resulta clave el acceso a financiamiento público y la vinculación tecnológica con institutos nacionales de tecnología agropecuaria y otras entidades del sistema científico-tecnológico (ver Recuadro 2).

ALTERNATIVAS PARA APALANCAR LOS ESFUERZOS DE I+D DE STARTUPS Y PYMES

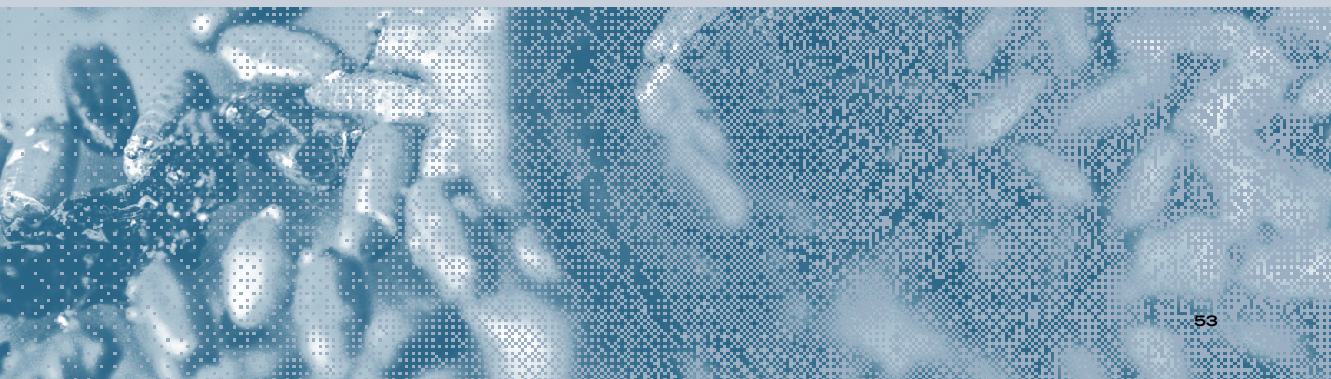
Puna Bio (Argentina) desarrolla bioestimulantes basados en bacterias extremófilas de La Puna. La empresa cuenta con dos ventajas que la hacen atractiva para **aceleradoras y fondos de capital de riesgo**. En primer lugar, los microorganismos extremófilos son resistentes y funcionales en un rango muy amplio de condiciones agroecológicas, por lo que tienen un amplio potencial de globalización. Segundo, en la Argentina es posible incluir cláusulas de exclusividad en los acuerdos para la repartición equitativa de los beneficios derivados de la explotación comercial de recursos genéticos. En el marco del Protocolo de Nagoya, dichos acuerdos pueden actuar como instrumentos de protección de la propiedad intelectual.

Puna Bio recibió inversiones de GRIDX y de IndieBio, la aceleradora de startups biotecnológicas más grande del mundo. Sobre esa plataforma, ha captado inversiones por más de 3,7 millones de USD.

Agri Marine Terra (AMT, Chile) se dedica al desarrollo, producción y comercialización de una amplia variedad de biofertilizantes y bioestimulantes. Para financiar sus proyectos de investigación y desarrollo, se apoya en instrumentos de **financiamiento público** como Súmate a Innovar, de la Corporación de Fomento de la Producción del mismo país. A través de esta línea obtuvo aproximadamente 12 000 USD por proyecto para insumos y ensayos a campo. A partir de su crecimiento, cuenta hoy con mayores posibilidades de acceder a financiamiento bancario.

El fuerte de **Biokrone** (México) es el desarrollo de formulaciones funcionales que confieren mayor eficiencia y vida útil a sus bioinsumos. La empresa exporta sus productos a América Latina y América del Norte y está negociando exportaciones a Europa y Asia.

En sus inicios, Biokrone recibió fondos del Estado de Guanajuato para sus proyectos de investigación. Luego, la empresa se apoyó en la **vinculación tecnológica** con centros de I+D, que hoy le transfieren cepas probadas, asesoran en temáticas como ingeniería inversa y colaboran con tareas de extensión y sensibilización.





Capítulo 4

Políticas públicas para regular y promover la adopción y el desarrollo de bioinsumos agrícolas

Al sector público le cabe un rol protagónico en el desarrollo de la industria de bioinsumos. En primer lugar, tratándose de una actividad que conlleva ciertos riesgos, el Estado debe establecer parámetros de seguridad que mitiguen riesgos para su producción y uso. En segundo lugar, el desarrollo de bioinsumos involucra el aprovechamiento de un bien público como es la biodiversidad, por lo que se deben contemplar los mecanismos institucionales para que los pueblos puedan participar de los beneficios. En tercer lugar, los obstáculos y limitantes para la adopción y producción de bioinsumos justifican la implementación de políticas de promoción del sector. Por último, al tratarse de una industria intensiva en I+D, los institutos nacionales de tecnología agropecuaria tienen un papel central para hacer viable el desarrollo de nuevos productos y empresas.

En este capítulo se describen algunas intervenciones relevantes del sector público en América Latina y el Caribe. La primera sección analiza algunos acuerdos internacionales y normativas de países que regulan aspectos claves para el desarrollo, producción y utilización de bioinsumos: el acceso a recursos genéticos, la patentabilidad, el registro de bioinsumos comerciales y la autoproducción. La segunda sección aborda los planes, programas y proyectos dedicados a la promoción de los bioinsumos. En la tercera, se describe el rol de los institutos nacionales de tecnología agropecuaria. Por último, se consideran los programas de las instituciones financieras internacionales.

4.1 REGULACIÓN

4.1.1 Acceso a los recursos genéticos y participación de los beneficios derivados de su uso

Un aspecto crucial para la investigación, desarrollo y comercialización de bioinsumos de origen microbiano está relacionado con la interpretación e implementación del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). En virtud de este, los países tienen derechos soberanos sobre sus recursos genéticos y pueden establecer acuerdos sobre el acceso a ellos, lo que incluye la participación de los gobiernos nacionales, regionales o locales en los beneficios derivados de su explotación comercial.

El Protocolo de Nagoya, celebrado bajo la órbita del CDB en 2010, establece que solo los Estados pueden otorgar permisos para hacer colectas, aislar y evaluar el potencial de los agentes biológicos. Además, incluye la definición de regulaciones para garantizar una participación justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos.

En la región se encuentra cierta heterogeneidad respecto a la adhesión e implementación del Protocolo de Nagoya. Ciertos países, como la Argentina y el Brasil, han adherido al acuerdo y cuentan con un marco normativo para su implementación. Otros, como Costa Rica, están comenzando a promover la implementación del Protocolo. En otros casos, como el de Chile, no ha habido avances en este sentido debido a la carencia de una ley nacional de acceso de los recursos genéticos.

La Argentina, por ejemplo, cuenta con resoluciones sancionadas por el Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA)²⁷ y por el Ministerio de Ambiente de la Nación.²⁸ Según esta normativa, es necesario solicitar permiso a la jurisdicción correspondiente para tomar muestras tanto del medio ambiente como de colecciones de microorganismos. En el caso de los aislamientos para I+D sin finalidad comercial, se emite una autorización de acceso, mientras que para el uso comercial debe firmarse un contrato que establezca la participación de los beneficios, el que puede incluir el pago de regalías para la jurisdicción de origen y una cláusula de exclusividad de uso de los recursos a favor de la entidad beneficiaria por un plazo acordado entre las partes.

De todas formas, cabe destacar que la normativa vigente no incluye especificaciones sobre los términos de estos contratos, que son fruto de las negociaciones entre la parte interesada y la jurisdicción. A su vez, no todas las jurisdicciones cuentan con normas de aplicación del Protocolo de Nagoya.

²⁷ Resolución 375/2018 de declaración de interés federal ambiental del Protocolo de Nagoya; 387/2018 de implementación del Protocolo, y 448/2020 de promoción de su aplicación.

²⁸ Resolución 410/2019, que establece que todo material genético debe cumplir con el protocolo de Nagoya y determina pautas mínimas y uniformes para todas las jurisdicciones del país. Se debe tener en cuenta que Argentina es un país federal, integrado por 23 provincias y un distrito federal (Ciudad Autónoma de Buenos Aires).

En el Brasil, la legislación se ocupa del acceso a los recursos genéticos para la investigación y el desarrollo tecnológico y se basa en un sistema de registro y notificación.²⁹ Para fines de explotación económica, se exige una notificación previa al Consejo de Gestión del Patrimonio Genético (CGen), del Ministerio de Medio Ambiente, sobre el producto acabado (o material reproductivo), además de presentar el acuerdo de distribución de beneficios con la comunidad de origen de los recursos genéticos. La participación en los beneficios puede ser de naturaleza monetaria, o bien incluir proyectos de conservación y uso sustentable de la biodiversidad, transferencia de tecnología, disponibilidad del producto para dominio público y capacitaciones sobre conservación de recursos genéticos, entre otros (Davis et al., 2016).

Según la información suministrada por empresas y centros desarrolladores de bioinsumos en el Brasil, la obtención de los certificados de Nagoya no es una barrera significativa y su tramitación es ágil. Sin embargo, como se indicará más adelante, este no es el caso en todos los países de la región.

Los países centroamericanos, por su parte, han incorporado en sus normativas principios del CDB, como la participación justa y equitativa de los beneficios; también han creado unidades gubernamentales dedicadas al abordaje de los principios contenidos en ese convenio. El programa Acceso y distribución equitativa del potencial económico de la biodiversidad en Centroamérica y República Dominicana (ABS/CCAD-GIZ) es un ejemplo de la voluntad de cooperación entre los Estados para enfrentar el problema de la extracción ilegal de recursos genéticos y conocimientos tradicionales (Helena y Paz, 2018).

Por otro lado, el Estado Plurinacional de Bolivia, Colombia, el Ecuador y el Perú establecieron en 1996 la Decisión Andina 391 sobre el Régimen Común para el Acceso a los Recursos Genéticos. Dicho Régimen, anterior al Protocolo de Nagoya, prevé condiciones para la distribución de los beneficios derivados del acceso a los recursos genéticos, sus derivados y sus componentes intangibles asociados, y sienta las bases para su reconocimiento y valoración, especialmente cuando provienen de comunidades indígenas, afroamericanas o locales. Además, promueve la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de los recursos biológicos que contienen recursos genéticos y la consolidación y desarrollo de las capacidades científicas, tecnológicas y técnicas a nivel local, nacional y subregional.

Más allá de la heterogeneidad presente en la región, lo cierto es que la implementación de las normativas mencionadas requiere fortalecer las capacidades institucionales para que estas sean ejecutadas de manera adecuada. A su vez, la implementación del Protocolo de Nagoya es una limitante para el desarrollo de bioinsumos en algunos países de América Latina y el Caribe, en tanto la obtención de los permisos de colecta para investigación, además de las negociaciones para la producción industrial y comercialización de bioinsumos, requieren trámites que pueden durar desde varios meses hasta dos años.

²⁹ Ley 1312310/2015, reglamentada por el Decreto 877211/2016 y que revocó la anterior Ley de Biodiversidad 2186/2001.

4.1.2. Patentabilidad

Debido a que la mayoría de los bioinsumos se componen de micro o macroorganismos naturales o compuestos o extractos derivados de estos, no suelen cumplir con la altura inventiva exigida para acceder a la protección por medio de patentes. Si bien los procesos de producción y las formulaciones de los productos podrían, en algunos casos, patentarse, en general quienes desarrollan bioinsumos optan por el secreto industrial para garantizar un mayor nivel de protección. Como excepción a esta regla, los bioinsumos basados en proteínas recombinantes cuentan con componentes biotecnológicos que pueden ser protegidos por patentes.³⁰

El Convenio de París para la protección de la propiedad industrial, adoptado en 1883, ocupa un rol central en la protección internacional de la propiedad industrial. Sin embargo, este convenio no impone criterios mínimos de patentabilidad ni regula en detalle el alcance de los derechos conferidos por las patentes y sus excepciones.

Por el contrario, el Acuerdo sobre los aspectos de los derechos de propiedad intelectual relacionados con el comercio (ADPIC), contiene un conjunto de disposiciones que se constituyen como estándares mínimos para la protección de la propiedad intelectual para los Estados miembros de la Organización Mundial de Comercio (OMC) (Basso *et al.*, 2016). Según el Acuerdo, los países miembros “podrán excluir de la patentabilidad a las plantas y los animales, excepto los microorganismos, y los procedimientos esencialmente biológicos para la producción de plantas o animales”. Sin embargo, también se establece que los Estados miembros de la OMC pueden establecer libremente el método adecuado para aplicar las disposiciones del Acuerdo.

Si bien existen diferencias legislativas entre los países, en América Latina y el Caribe la tendencia es que, sobre todo en los mercados más grandes como la Argentina y el Brasil, los seres vivos naturales o sus partes y el material biológico natural, aún aislados, no sean patentables (Basso *et al.*, 2016). En el caso de material biológico modificado, es decir, no preexistente en la naturaleza, en cambio, existen algunas diferencias entre estos dos países. Mientras que en el Brasil los microorganismos modificados genéticamente son patentables, en la Argentina el material biológico, el material genético, la materia viva y las sustancias modificadas son susceptibles de protección por patentes, siempre y cuando no se encuadren en alguna otra exclusión de patentabilidad. Tal es el caso de las plantas y los animales, que no son susceptibles de ser protegidos por patentes, aunque sean organismos modificados por la acción humana. Esto incluye a los artrópodos y nematodos utilizados para control biológico (Basso *et al.*, 2016; Starobinsky *et al.*, 2021).

Otra herramienta que actúa, de manera indirecta, como mecanismo de protección de los desarrollos de bioinsumos en algunos países es el ya mencionado Protocolo de Nagoya. Por ejemplo, en la Argentina los contratos establecidos entre las empresas y las jurisdicciones subnacionales para la participación en los beneficios derivados de la explotación comercial de los recursos genéticos pueden incluir cláusulas de exclusividad por un tiempo acordado entre las partes. De este modo, mientras el contrato se encuentre vigente, solo la empresa que aisló el microorganismo y desarrolló el bioinsumo puede hacer uso del recurso.

³⁰ Por ejemplo, el bioinsumo Howler, comercializado por la empresa Summit Agro y desarrollado por el Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), se basa en una proteína recombinante procedente de un fitopatógeno, la cual, al ser aplicada sobre los cultivos induce las respuestas de defensa de las plantas. Este producto cuenta con patentes en distintas partes del mundo que protegen el cDNA utilizado en el proceso de obtención de la proteína recombinante (Starobinsky *et al.*, 2021).

4.1.3. Registro

Al igual que cualquier insumo agropecuario, los bioinsumos deben estar registrados para poder ser comercializados en el mercado. La mayoría de los países no cuenta con una regulación específica para el registro de estos productos y existe heterogeneidad, tanto en los requisitos exigidos como en las definiciones y en los distintos tipos de bioinsumos incluidos en las normativas. Aún así, se observan ciertos patrones comunes.

En primer lugar, como parte del proceso de registro de un bioinsumo es necesario demostrar su eficacia y su seguridad mediante ensayos de laboratorio y de campo. Dependiendo del nivel de exigencia de las entidades regulatorias, estos ensayos pueden costar entre 10 000 y 70 000 USD.³¹ Mientras que los ensayos de laboratorio pueden, en algunos casos, tener validez para el registro del mismo producto en varios países, los ensayos a campo deben repetirse en cada país donde se quiera registrar el bioinsumo, para cada cultivo donde se quiera aplicar comercialmente. Cabe destacar que, en general, las autoridades regulatorias carecen de guías o protocolos actualizados para la correcta evaluación de eficacia y seguridad de los distintos tipos de bioinsumos, lo que hace más difícil el proceso de registro.

A pesar de que algunos países como la Argentina y el Ecuador implementaron aranceles preferenciales para el registro de bioinsumos, el proceso sigue siendo largo y complejo y conlleva costos que podrían mejorarse considerablemente mediante la adecuación de los marcos regulatorios. Asimismo, la diversidad de modalidades de registro de bioinsumos a lo largo de la región hace que las empresas productoras deban disponer de recursos humanos destinados exclusivamente a esa tarea en distintos países.³²

En este sentido, la falta de normativa específica para bioinsumos en la mayoría de los países lleva a que, en muchos casos, estos productos sean evaluados de manera análoga a los productos agroquímicos y que las etiquetas de los productos incluyan la palabra “tóxico” aunque no lo sean. Por ejemplo, suele suceder que, para registrar un producto como bioplaguicida o plaguicida biológico, se exija llevar a cabo ensayos toxicológicos, pero si el mismo producto se registra como biofertilizante, estos ensayos no son requeridos, lo que se asocia a una lógica más afín a los productos agroquímicos tradicionales. De este modo, registrar un producto para control biológico suele requerir más tiempo y más dinero, por lo que muchos productos que cumplen ambas funciones se registran como biofertilizantes o bioestimulantes. En esos casos, los productos no pueden ser ofrecidos legalmente como bioplaguicidas.

Colombia es el país de la región que tiene mayor tradición en el uso de bioinsumos registrados, ya que desde 1995 cuenta con una regulación específica³³ que acogió el término “bioinsumos”. Este uso temprano del término habilitó la posterior sanción de normativas nacionales que dictan las disposiciones sobre el registro y control de bioinsumos de uso agrícola, diferenciándolos de los de origen químico y estableciendo requerimientos y consideraciones especiales para su evaluación.³⁴

31 Información suministrada por los agentes entrevistados.

32 Generalmente se requiere la contratación de un responsable local que interactúe con el organismo de registro en cada país donde va a comercializarse el bioinsumo.

33 Resolución 3079/1995 del ICA.

34 Resolución 375/2004, Resolución 698/2011 y Resolución 68370/2020 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Sin embargo, según referentes del sector, aún es necesario incorporar disposiciones específicas para bioestimulantes. A su vez, pese a contar con normativa específica para bioinsumos, hoy en día en Colombia es más rápido y menos costoso registrar un producto como biofertilizante que como bioplaguicida: registrar este último cuesta aproximadamente entre 15 000 y 20 000 USD y toma aproximadamente 15 meses, mientras que un biofertilizante cuesta unos 10 000 USD y toma aproximadamente ocho meses.

En el Brasil, por su parte, no existe una legislación específica para bioinsumos, aunque existen algunas disposiciones legales sobre control biológico y biofertilizantes en las normas vigentes para agroquímicos.³⁵ A su vez, en los últimos años se han observado avances significativos en el marco regulatorio para bioinsumos, entre los cuales se encuentran diversas Instrucciones Normativas Conjuntas (INC)³⁶ y el Decreto 10 833/2021, que establece que los productos fitosanitarios con uso aprobado para agricultura orgánica producidos exclusivamente para uso propio en sistemas de producción orgánicos o convencionales están exentos de registro.³⁷ También existen dos proyectos de ley para regular la producción, el registro, la comercialización, la investigación, la experimentación y los incentivos para la producción de bioinsumos, incluyendo la autoproducción (ver sección 4.1.4 en este capítulo).³⁸

Pese a no contar con un régimen específico, en el Brasil los bioinsumos se registran bajo los rótulos de productos biológicos (por ejemplo, fungicida biológico, insecticida biológico, etc.), su trámite implica un costo diferencial y los ensayos toxicológicos, en general, ya no son exigidos. De todas formas, según refieren empresas desarrolladoras del país, aún es necesario optimizar los tiempos del proceso de registro, ya que en algunos casos puede demorar hasta tres años. Además, dado que registrar un biofertilizante toma menos tiempo y tiene menor costo que registrar un bioplaguicida, aún se encuentran productos que cumplen ambas funciones registrados solamente como biofertilizantes.

35 Ley 7 802/1989, reglamentada por el Decreto 4 074/2002 y sus modificatorios; y Ley 6 894/1980, modificada por la Ley 12 890/2013 y reglamentada por el Decreto 86 955/1982 y sus modificatorios.

36 La INC 32/2005 incluye a los productos bioquímicos (hormonas y enzimas); la INC 01/2006, a los productos semioquímicos (feromonas y aleloquímicos); la INC 02/2006 a los agentes de control biológico (enemigos naturales y Técnica del Insecto Estéril); la INC 03/2006 incluye a los microorganismos para control biológico (se excluyen los microorganismos modificados por ingeniería genética), y la INC 01/2011 incluye a los productos fitosanitarios con uso aprobado para agricultura orgánica.

37 El decreto anterior, 4.074/2002, modificado por el Decreto 6.913/2009, no incluía la exención del registro para la producción para autoconsumo en la agricultura convencional, ya que, según su artículo N° 8, “los productos fitosanitarios con uso aprobado para agricultura orgánica producidos exclusivamente para uso propio están exentos de registro”.

38 Proyecto de Ley 3668/2021 y 658/2021.

En la Argentina, se encuentra en elaboración una normativa específica para bioinsumos. Previamente a la publicación de esa nueva normativa, el registro de estos productos se regula mediante dos resoluciones del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), sobre productos fitosanitarios³⁹ y sobre fertilizantes, enmiendas, sustratos, acondicionadores, protectores y materias primas.⁴⁰ A excepción de los biofertilizantes, el resto de los bioinsumos no están definidos en la normativa. De este modo, los bioplaguicidas se registran como plaguicidas y los bioestimulantes como acondicionadores biológicos (si provienen de microorganismos) o como acondicionadores químicos (si provienen de otras fuentes biológicas). Los insectos y nemátodos benéficos carecen de normativa.

Por otro lado, los países de Centroamérica regulan el registro de los insumos agrícolas bajo una normativa conjunta.⁴¹ Sin embargo, existen diferencias en su implementación entre los países. Así, en Costa Rica el registro de un bioestimulante, biofertilizante o enmienda biológica se puede obtener en un plazo de dos a seis meses, mientras el registro de un bioplaguicida puede llegar a demorar bastante más de un año. En Panamá, Honduras y Nicaragua, este proceso es más ágil, pudiendo obtenerse en menos de un año.

La diferencia de tiempos entre el registro de los distintos tipos de productos observada en Costa Rica se debe a los requisitos impuestos en cada caso. La evaluación de las solicitudes de registro para biofertilizantes y bioestimulantes se lleva a cabo en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y no incluye la obligatoriedad de presentar análisis fisicoquímicos, ni ensayos de eficacia (salvo para productos innovadores) o de toxicidad. En cambio, la evaluación de los productos para control biológico requiere la participación de tres instancias de gobierno (MAG, Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud Pública) y la presentación de ensayos de eficacia y toxicológicos.

Se debe tener en cuenta que algunos países de Centroamérica no cuentan con laboratorios locales para realizar los ensayos solicitados por los Reglamentos Técnicos Centroamericanos. Tal es el caso de El Salvador, donde, según información aportada por organizaciones locales que desarrollan bioinsumos, se deben realizar algunos de estos ensayos en Costa Rica, Cuba o los Estados Unidos. Esto constituye un obstáculo para completar el proceso de registro y eleva los costos de producción.

Finalmente, vale la pena destacar que, en el marco del Proyecto sobre armonización en procedimientos de registro de plaguicidas y alineamiento de Límites Máximos de Residuos, que ejecutan en la región el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), Centroamérica y República Dominicana procuran establecer una normativa regional unificada para todos los tipos de bioplaguicidas, mediante la unificación de los reglamentos actuales para plaguicidas microbiológicos, botánicos e invertebrados.

39 Resolución 350/1999.

40 Resolución 264/2011.

41 Decreto 39733-COMEX-MEIC-MAG, Decreto 38817-COMEX-MEIC-MAG y Decreto 40793-MAG-MEIC-COMEX.

4.1.4. Autoproducción

En la región, no se hallaron instrumentos legales que regulen la producción en finca, pero en el Brasil existen dos proyectos de ley pioneros, que buscan proveer un marco para asegurar la calidad y seguridad de este tipo de producción y que no sea destinada a la comercialización.

Por un lado, el proyecto de Ley 3 668/2021 establece que las biofábricas en finca⁴² –exceptuando las unidades de producción de bioinsumos de agricultura orgánica y agricultura familiar– deberán registrarse como establecimientos productivos de bioinsumos ante el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (MAPA). En cambio, quedarían exentos de registro los productos obtenidos, dado que no serían comercializados. Incluso, el proyecto plantea exentar de registro a los bioinsumos comerciales basados en microorganismos de bajo riesgo.⁴³

El proyecto también establece que las biofábricas deberán contar con una persona responsable calificada y reconocida por el MAPA y seguir las instrucciones de buenas prácticas reguladas por la agencia de agricultura del Gobierno Federal. Por último, se indica que los bioinsumos basados en microorganismos aislados tendrán que ser producidos a partir de aislamientos o cepas obtenidas de un banco de germoplasma acreditado por el MAPA.

El proyecto de Ley 658/2021 impone regulaciones más estrictas. Entre otras cosas, establece que la manipulación de microorganismos aislados en las biofábricas en finca⁴⁴ solo podrá incluir microorganismos de bajo nivel de riesgo. De manera similar al proyecto anterior, también dispone que el manejo biológico en finca⁴⁵ deberá seguir las instrucciones de un Manual de Buenas Prácticas a ser publicado por el MAPA, que será obligatorio contar con personal técnico⁴⁶–excepto en el marco de la agricultura familiar–, que los bioinsumos producidos en finca no podrán ser comercializados, y que solo se podrán emplear microorganismos obtenidos de germoplasmas oficiales o de otra fuente capaz de garantizar su identidad y origen, permitiéndose obtener aislados directamente de la naturaleza si se tiene la intención de realizar estudios de investigación, desarrollo agronómico y eficiencia.

Ambos proyectos disponen que los lotes de bioinsumos producidos en biofábricas en finca deberán estar identificados mediante informes que den cuenta de la fecha de fabricación, la cantidad producida, la identificación, el origen del aislado y linaje o estirpe (ver Cuadro 10).

42 Definidas en el proyecto como “unidad productora de bioinsumos a partir de microorganismos aislados para uso exclusivo y adecuado de los productores rurales en sus inmuebles, prohibidos de comercialización, dotados de equipos e instalaciones que permitan el control de calidad de su producción”.

43 Se trata de microorganismos de riesgo biológico clase I: bajo riesgo individual y para la comunidad, incluye agentes biológicos que se sabe que no causan enfermedades en humanos o animales adultos sanos.

44 Definidas en el proyecto como: “unidades productoras de bioinsumos, automatizadas y fabricadas en su mayoría en acero inoxidable, instaladas en un establecimiento rural, para la producción de bioinsumos para uso exclusivo de los productores rurales, dotadas de equipo que permite el control de calidad”.

45 Definido en el proyecto como las “actividades realizadas por los productores en áreas rurales relacionadas con la multiplicación de un aislado, cepa, o estirpe de un agente de control microbiológico, o con la multiplicación de bioinsumos prefermentados en biofábricas instaladas en sus establecimientos rurales, con el objetivo de producir productos biofermentados para uso propio exclusivamente en sus establecimientos rurales”.

46 Estas personas responsables deberán contar con formación en alguna de las siguientes carreras: ingeniería en bioprocesos y biotecnología, agronomía, ingeniería química, biología, tecnicatura en bioprocesos y biotecnología, en agronomía, en química, en biología. También puede tratarse de personas con otras profesiones que hayan recibido formación técnica en la producción de bioinsumos.

Cuadro 10

Síntesis de aspectos regulatorios en algunos países de la región

País	Registro de productos comerciales	Acceso a los recursos genéticos y participación justa y equitativa en los beneficios (Protocolo de Nagoya)	Regulación de la producción para autoconsumo
Argentina	Normativa en elaboración	A la fecha, ha firmado, ratificado e implementado el Protocolo de Nagoya. Cuenta con certificados otorgados y acuerdos firmados con empresas para la participación en los beneficios del uso comercial de recursos genéticos. Sin embargo, la implementación es heterogénea entre las distintas jurisdicciones subnacionales, representando una barrera en ciertas regiones del país ⁴⁷	No cuenta con normativa específica
Brasil	No cuenta con legislación específica para bioinsumos. Sin embargo, la normativa vigente genera un marco adecuado para el registro de bioinsumos	A la fecha, ha firmado, ratificado e implementado el Protocolo de Nagoya. Cuenta con certificados otorgados y acuerdos firmados con empresas para la participación en los beneficios del uso comercial de recursos genéticos. La instrumentación del Protocolo es un proceso ágil que no representa una barrera para los nuevos desarrollos	Existen proyectos de ley para brindar un marco regulatorio para el registro de las biofábricas en finca y el desarrollo de las actividades de producción y manejo biológico dentro de las fincas
Colombia	Cuenta con normativa específica para el registro de los bioinsumos, pero esta no incluye a bioestimulantes ⁴⁸	Implementa la Decisión Andina 391 sobre el Régimen Común para el Acceso a los Recursos Genéticos, más restrictiva que el Protocolo de Nagoya. Además, ha firmado y ratificado el Protocolo de Nagoya	No cuenta con normativa específica
Costa Rica	Cuenta con reglamentos técnicos (comunes para Centroamérica) para ciertos tipos de bioinsumos. Se observa una necesidad de adaptación del marco regulatorio para el registro de bioplaguicidas	Ha firmado el protocolo de Nagoya, sin embargo, la normativa para su implementación se encuentra en la etapa final del proceso de aprobación en la Asamblea Legislativa	No cuenta con normativa específica

FUENTE: elaboración propia.

⁴⁷ Información suministrada por empresas desarrolladoras de bioinsumos de Argentina.

⁴⁸ Información aportada por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

4.2. ESTRATEGIAS, PLANES Y PROGRAMAS DE NIVEL NACIONAL

A partir de la información disponible en el Observatorio Regional para la Planificación del Desarrollo de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), se constata que ya ocho países de América Latina y el Caribe mencionan los bioinsumos en sus planes de desarrollo (ver Figura 9). Si bien ello significa una creciente inserción en los ejercicios de planificación de mediano y largo plazo de los países de la región, su presencia más acotada contrasta con el apoyo continuo al aprovisionamiento y distribución de agroquímicos tradicionales, y representa un desafío en términos de política pública para promover un cambio de paradigma hacia un modelo productivo más sostenible.



Figura 9

Planes Nacionales de Desarrollo en América Latina y el Caribe según mencionen o no a los bioinsumos

NOTA: Se relevó a los países miembros de la FAO en América Latina y el Caribe.

FUENTE: Elaboración propia en base a CEPAL y páginas oficiales de organismos públicos. Mapa conforme a la mapa de la ONU para la región CEPAL. <https://www.un.org/geospatial/content/economic-commission-latin-america-and-caribbean-eclac>

Más allá de los planes de desarrollo, existe también una gran heterogeneidad en la región en lo que se refiere a la inclusión de los bioinsumos en estrategias sectoriales y a la creación de iniciativas específicas.

Países como la Argentina, el Brasil y Cuba (ver Recuadro 3) cuentan con políticas o programas específicos para la promoción de los bioinsumos. En la Argentina, en primer lugar, se creó en 2021 el Programa de Bioinsumos Agropecuarios Argentinos (PROBIAAR), que se propone financiar mediante aportes no reembolsables proyectos para el desarrollo, la producción o la utilización de bioinsumos, liderados por PyMEs agroalimentarias, cooperativas de productores agrícolas, personas físicas, gobiernos subnacionales o entidades públicas, académicas y/o científico-tecnológicas, entre otros. Este programa se enmarca en el Plan de Acción para el Sector de los Bioinsumos de Uso Agropecuario, que contempla la creación de un registro de productores/as de bioinsumos, la promoción de la innovación en su producción, la difusión de información y experiencias de uso y la realización de capacitaciones y cursos. Además, busca impulsar la articulación entre el sector público y privado para el desarrollo del sector.

Cabe destacar que este plan, a su vez, fue elaborado por el Comité Asesor en Bioinsumos de Uso Agropecuario (CABUA). Creado en 2016, este organismo está integrado por representantes de organismos públicos, entidades del sistema científico-tecnológico, empresas y organizaciones de productores/as y tiene como objetivo asesorar a la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGYP) del Ministerio de Economía de la Nación.

En segundo lugar, en la Argentina el Programa Nacional Bidesarrollo Argentino (“Programa Bidesarrollar”) tiene como objetivo impulsar el desarrollo, la innovación, la adopción y la producción de bioproductos, incluyendo bioinsumos, por parte de miPyMEs, cooperativas agroindustriales, entidades públicas o asociaciones mixtas. El programa brinda asistencia técnica a bidesarrolladores, facilita vinculaciones con entidades públicas, privadas y mixtas para la elaboración de proyectos y productos; y realiza convocatorias para proveer financiamiento para proyectos de desarrollo de bioproductos que se encuentren en etapa de escalamiento.

En el Brasil, por su parte, el Programa Nacional para el Desarrollo de Bioinsumos (PNB), creado en 2020, se propone promover el uso de bioinsumos, priorizando la producción de pequeña y mediana escala y elaborando un manual de buenas prácticas para las unidades productoras de bioinsumos. En el marco del PNB también se ha avanzado en la creación de una Red de Innovación de Bioinsumos, enfocada en la sistematización de colecciones de microorganismos, con la participación de representantes de la academia, organizaciones a cargo de colecciones, empresas y *startups*. Hasta ahora se han mapeado 54 colecciones y se está trabajando en la creación de una plataforma similar a *fablabs*⁴⁹ para biofábricas. El objetivo es estimular la creación de biofábricas, incluyendo *bio-fablabs* para uso local y prototipado de insumos biológicos. Hasta el momento se ha inaugurado un primer *bio-fablab* en EMBRAPA Goias, hay otros tres en proceso de inauguración y un total de cinco planificados. Cada institución o centro nacional administrará los *bio-fablabs* y se espera que el piloto inicial se centre en la fase de prototipado.

49 Un *fablab* (del inglés *Fabrication Laboratory*) es un taller de fabricación digital en el que se pueden producir objetos mediante el uso de máquinas controladas por ordenadores. A diferencia de los talleres industriales, los *fablabs* tienen un tamaño más reducido y suelen estar estrechamente vinculados con la comunidad.

Asimismo, a través de su Banco Nacional de Desarrollo (BNDES), el Brasil lleva adelante una activa política de financiamiento para impulsar la producción de bioinsumos. Desde finales de 2021, el BNDES incorporó ese objeto de inversión a sus líneas crédito permanentes BNDES Finem y BNDES Crédito Rural, potenciando así líneas preexistentes del banco que contaban con aportes presupuestarios del Tesoro, como Pronaf ABC+ Bioeconomía –que incluye el otorgamiento créditos para proyectos de construcción o ampliación de unidades de producción de bioinsumos para autoconsumo en predios rurales– y el programa Inovagro, que impulsa la incorporación de innovaciones tecnológicas en los precios rurales, incluyendo la adquisición de bioinsumos y la instalación de biofábricas.

Complementariamente, algunos estados subnacionales han también llevado adelante iniciativas relevantes. Goiás (Brasil), por ejemplo, tiene un fondo estatal para todas las tecnologías sustentables, que incluye los bioinsumos, y también ha financiado biofábricas como modelo para la transferencia de tecnología a productores/as. En San Pablo (Brasil), la Fundação de Amparo a Pesquisa (FAPESP) financió, junto a la empresa holandesa Koppert y la Universidad de San Pablo, un Centro de Investigación Avanzada en Control Biológico. Y en Formosa (Argentina) se construyó una biofábrica con fondos provistos por el programa Construir Ciencia, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Nacional.

CUBA: ESTRATEGIA ESTATAL INTEGRADA DE CONTROL BIOLÓGICO, CON ENFOQUE TERRITORIAL Y PRODUCCIÓN “DE ÚLTIMA MILLA”

Dadas las restricciones que enfrenta Cuba para acceder a agroquímicos y a los combustibles utilizados para su aplicación, desde la década de 1980 el Estado promueve la producción de bioinsumos, a partir de una estrategia de integración vertical de las etapas de investigación, desarrollo, producción y distribución.

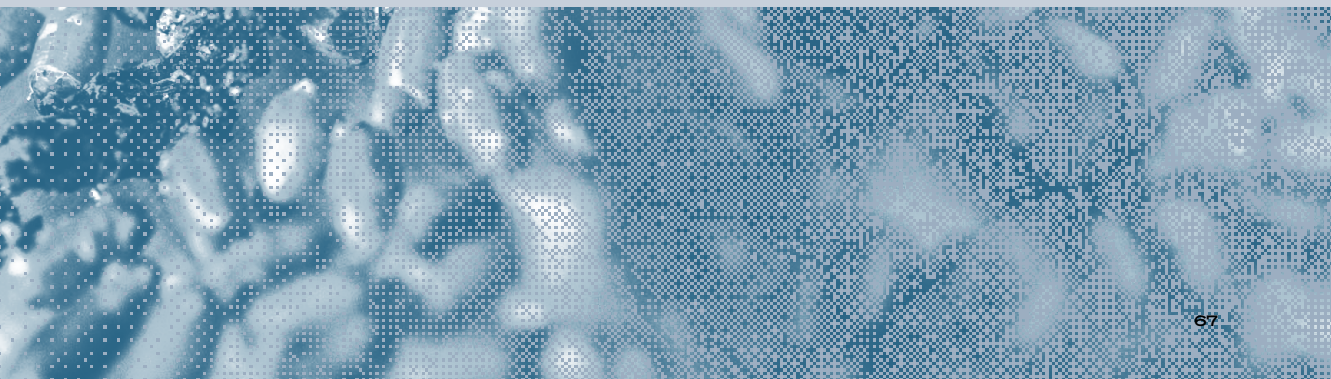
Así, se observa una articulación con la red de I+D nacional, que abarca a institutos de investigación de grupos empresariales, 76 estaciones territoriales de sanidad vegetal, 14 laboratorios de sanidad vegetal, universidades, el Instituto de Suelos y cooperativas.

La Unidad de Lucha biológica del Servicio de Sanidad Vegetal promueve la producción local, tanto artesanal como comercial. Por un lado, en cerca de 200 centros de reproducción de entomófagos y entomopatógenos de la isla, 600 personas organizadas en colectivos laborales y empresas trabajan en la producción artesanal de insectos benéficos y microorganismos, como *Trichoderma spp.* Esto permite que la producción posea un enfoque territorial y de proximidad, ajustado a la necesidad de los productores.

Por otro lado, en cuatro plantas industriales del grupo empresarial Biofam se producen bioplaguicidas microbianos por fermentación. Los bioinsumos industriales son distribuidos a través de la empresa Gelma.

La distribución se complementa con asistencia técnica especializada y el registro, muestreo y vigilancia de su eficacia biológica. Dichas actividades son realizadas junto con las y los agricultores, quienes así conocen las funciones y beneficios de la agrobiodiversidad en los ecosistemas.

Con la capacidad instalada actual, es posible cubrir aproximadamente el 30 % de la superficie cultivada del país. Una vez que esté operativa una nueva planta para la producción de bioinsumos de formulación sólida –actualmente en construcción–, se podrá proveer con bioinsumos al 80 % o al 90 % de la superficie cultivada.



Otro conjunto de países cuenta con estrategias, planes o programas para el sector agrícola, o bien orientados a la bioeconomía o la protección de la biodiversidad, que contemplan el impulso a los bioinsumos entre sus líneas de acción, y en algunos casos incluyen inversiones específicas.

En el Estado Plurinacional de Bolivia, Chile, Colombia y México se identificaron instrumentos de política o líneas de acción específicas para fomentar el desarrollo, producción o adopción de bioinsumos. En Colombia y México, dichas acciones se enmarcan en programas de fomento más amplios del sector agropecuario. El Programa de Fomento a la Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura de México, por un lado, incluye mecanismos de apoyo financiero para la adquisición de maquinaria e implementos para agricultura familiar y producción de bioinsumos por parte de pequeños/as productores/as.

Por otro lado, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia estableció en 2022 una Política Nacional de Insumos Agropecuarios que incluye el fomento al uso y producción de bioinsumos. El Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) ha publicado una serie de documentos⁵⁰ para la instrumentalización de dicha política. Allí se indican líneas de acción para el período 2021-2031, que incluyen el fomento por parte del Instituto Colombiano de Tecnología Agropecuaria (AGROSAVIA) de líneas de trabajo en bioinsumos para identificar necesidades, alinear soluciones tecnológicas y promover la adopción de estos productos; la revisión y el ajuste de las normas para el registro de bioinsumos, con el fin de hacerlas específicas a las particularidades de los productos biológicos; la definición e implementación de una estrategia de actualización y divulgación técnica del uso de bioinsumos; la definición e implementación de una estrategia de difusión de información para la adopción de prácticas y manejo adecuado de insumos agropecuarios que ofrecen alternativas de origen biológico; la ejecución de proyectos de investigación para generar nuevos bioproductos, con el fin de incentivar la producción de insumos agropecuarios en el territorio nacional y la elaboración de un estudio de prefactibilidad para la creación o puesta en funcionamiento de plantas regionales de insumos agropecuarios y bioinsumos para mejorar la oferta de estos bienes en el país, entre otras acciones.

En Chile, por su parte, la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), dependiente del Ministerio de Agricultura, apoya proyectos de desarrollo de bioinsumos a través de los Proyectos de Innovación Agraria (PIA), que financian iniciativas de innovación y desarrollo en el sector agropecuario presentadas por empresas, asociaciones agrícolas o instituciones académicas, entre otras. En el Estado Plurinacional Bolivia se observa otro tipo enfoque en el apoyo a la producción de bioinsumos: recientemente, se aprobó un aporte de capital por un valor de 64,6 millones de USD, con recursos del Tesoro General de la Nación, para la construcción de nueve plantas de agroinsumos, a cargo de la Empresa Estratégica de Producción de Abonos y Fertilizantes.

⁵⁰ Documento CONPES N° 3934, N° 4023 y N° 4098.

También se hallaron en la región referencias a los bioinsumos en estrategias para el sector agrícola. En el Perú, uno de los objetivos prioritarios de la Política Nacional Agraria 2021-2030 es fomentar el manejo sostenible de los recursos naturales, lo que incluye el uso responsable de los bioinsumos y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, aunque aún no se identifican programas o presupuesto específico para materializarlo. En el caso del Ecuador, esto está explícitamente mencionado en la Política y Plan Nacional Agropecuario 2020-2030, del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en la que el Programa de Fomento a la Economía Circular en el Agro y de Bioinsumos y Controladores Biológicos se mencionan como un instrumento clave para la consecución de las metas.

México y Colombia, por último, incluyen a los bioinsumos en estrategias de bioeconomía o biodiversidad. La Estrategia de Financiamiento de la Biodiversidad y la Bioeconomía Mexicana y el Fondo de Aceleración para la Bioeconomía de Colombia buscan promover la inversión en actividades económicas que generen beneficios sociales y ambientales, incluyendo la producción de bioinsumos y bioproductos. Por último, Costa Rica contempla a los bioinsumos dentro de su Estrategia Nacional de Bioeconomía 2020-2030. Esta establece una implementación en tres fases sucesivas, orientadas principalmente a establecer las bases institucionales para el desarrollo de la bioeconomía y la identificación de proyectos estratégicos, a saber: determinar un marco legal adecuado, identificar proyectos en sectores de alto valor agregado y consolidar la bioeconomía como modelo para el desarrollo sostenible del país.

4.3. LOS INSTITUTOS NACIONALES DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

En la región, existen diversos institutos nacionales de ciencia y tecnología agropecuaria que tienen un rol destacado en el desarrollo de bioinsumos, la transferencia tecnológica al sector privado y en la implementación de estrategias de capacitación y campañas de divulgación para promover la adopción de estos productos.

En la Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) impulsa el desarrollo sostenible del sector agropecuario, agroalimentario y agroindustrial a través de la investigación y la extensión. Dentro del INTA, el Instituto de Investigación Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) es el más importante en materia de bioinsumos: cubre la cadena de valor completa, desde la investigación y desarrollo (incluyendo el aislamiento de nuevos agentes), hasta las actividades de extensionismo y transferencia tecnológica. Es capaz de llegar hasta el formulado experimental de bioinsumos en escala piloto, y, para el escalado industrial, se vincula con empresas que luego llevan la tecnología al mercado.

En los últimos años, el IMyZA ha logrado colocar bioinsumos en el mercado, desarrollar tácticas de control biológico y microbiano sobre diversas plagas y enfermedades, diseñar estrategias de manejo integrado de plagas, disponer de biofábricas y ajustar técnicas moleculares para la caracterización de microorganismos y plagas. Según Starobinsky *et al.* (2021) el instituto cuenta con más de 25 bioinsumos en distintos estadios de desarrollo, de los cuales cerca de una decena se encuentran en condiciones de ser transferidos.

Recientemente, además, por medio de un convenio con la Cámara Argentina de Bioinsumos (CABIO), se estableció que el IMyZA realice estudios de compatibilidad entre distintos bioinsumos comerciales, para aprovechar posibles sinergias entre ellos.

En el Brasil, la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) dispone de una amplia trayectoria en el desarrollo de bioplaguicidas para atender las problemáticas de los principales cultivos del país. Para ello, cuenta con 15 unidades dedicadas a investigación y desarrollo de bioinsumos, las cuales realizan aislamientos de microorganismos del territorio brasileño y colaboran con empresas para el desarrollo de cepas adaptadas a las diversas condiciones agroecológicas del país. Además, cuenta con infraestructura para el escalado piloto de sus desarrollos. En esta línea, ha establecido contratos con empresas para el desarrollo y transferencia de procesos de producción de microorganismos en medio líquido y, en caso de que estos lleguen al mercado, recibe regalías.

EMBRAPA trabaja en conjunto con la Agencia Nacional de Asistencia Técnica y Extensión Rural (ANATER, por sus siglas en portugués) —una red de asociaciones agrícolas, gobiernos estatales y federales, universidades y organizaciones no gubernamentales— en el desarrollo de unidades demostrativas⁵¹ y unidades de referencia tecnológica. En las unidades demostrativas se aplican productos que ya se encuentran en el mercado en paralelo con productos o prácticas convencionales, para poder observar y comparar los efectos de ambas prácticas. En las unidades de referencia tecnológica, en cambio, se realizan ensayos de validación o desarrollo en conjunto con productores/as agrícolas. Para instalar y administrar estas unidades, ANATER aporta financiamiento y personal extensionista y EMBRAPA insumos, recursos humanos —incluyendo de investigación— e infraestructura. A la fecha, se instalaron 4 unidades de referencia y 40 unidades demostrativas. Cada unidad se asocia con actores locales como municipios o sindicatos, entre otras instituciones.

Un ejemplo de esta colaboración entre EMBRAPA y ANATER se encuentra en el estado de Minas Gerais, donde se llevó a cabo un proyecto de extensión rural junto a la Fundación de Apoyo a la Investigación y el Desarrollo (FAPED, por sus siglas en portugués). El objetivo fue transferir los bioinsumos desarrollados por EMBRAPA, así como otras técnicas de producción agrícola sustentable, a familias agrícolas, mediante el montaje de centros demostrativos, centros de referencia, asistencia técnica y capacitación.

⁵¹ Consiste en la implementación de parcelas demostrativas en diferentes regiones del país, en las cuales se aplican diferentes tipos de bioinsumos y otras tecnologías en cultivos agrícolas específicos, con el fin de mostrar los beneficios de su uso en términos de productividad, calidad de los cultivos y reducción del impacto ambiental. Además de la demostración en campo, la unidad también contempla la realización de actividades de capacitación y difusión entre los agricultores y otros actores del sector, con el fin de promover la adopción de prácticas sustentables en la producción agrícola.

Asimismo, la Unidad EMBRAPA de Biocontroladores de Plagas Agrícolas, perteneciente a la Universidad de San Pablo, se destaca a nivel nacional como una de las principales entidades que se vincula con el sector privado para el desarrollo de bioinsumos. Cuenta con una cartera de 50 proyectos de desarrollo o transferencia con empresas, y dispone de unos 25 bioinsumos con el potencial de alcanzar el mercado basados en microorganismos, macroorganismos y biomoléculas. Dado que actualmente cuenta con infraestructura que alcanza la escala piloto, la etapa de escalado industrial es realizada en las empresas receptoras de los desarrollos. Sin embargo, se encuentra próximo a recibir fondos para ampliar su escala actual hacia la industrial.

En Chile, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) concentra sus esfuerzos, desde 2010, en la disminución del uso de agroquímicos y la promoción del uso de bioinsumos, con un enfoque especial en la agricultura de pequeña escala. La institución cuenta con nueve centros de investigación que desarrollan tecnologías en el campo del control biológico. Recientemente, inauguró el Centro Nacional de Bioinsumos, destinado a canalizar las investigaciones hacia el desarrollo de productos de escala piloto y precomercialización, desde los más conocidos, como *Trichoderma* hasta los más innovadores, como hongos endófitos.

Ese horizonte innovador plantea desafíos para su institucionalidad en varios planos: las reglamentaciones internas que regulan la dedicación de tiempo por parte de las y los investigadores para apuntalar nuevos emprendimientos, los criterios de evaluación del personal de investigación (que desincentivan los esfuerzos destinados a tareas que no redunden en publicaciones) o la asignación y gestión de la propiedad intelectual, entre otros aspectos. En este marco, desde el área de gestión de la innovación del INIA se creó Endomix, la primera Empresa con Base Científico-Tecnológica (EBCT) de INIA, basada en microorganismos controladores de plagas. Cuenta con una planta de producción en La Serena, donde se elaboran los bioinsumos que son distribuidos en varias regiones de Chile. Endomix ofrece una amplia gama de productos y cuenta con una valiosa colección de germoplasma y una colección chilena genético-microbiana que puede ser aprovechada para el desarrollo de nuevos productos.

El INIA también realiza esfuerzos específicos para adaptar sus desarrollos a las necesidades de los/as pequeños/as productores/as⁵² e implementa capacitaciones en su biofábrica. Además, ofrece programas de extensión como los grupos de transferencia tecnológica, que desarrollan planes de trabajo adaptados a las necesidades locales, y los grupos de capacitación a agentes agroalimentarios, que se enfocan en mejorar las capacidades técnicas para transferir tecnología de manera más eficiente.

En Colombia, AGROSAVIA, se enfoca en el desarrollo de bioinsumos desde 1995. Realiza investigaciones básicas y pruebas de concepto, principalmente enfocados en el desarrollo de bioplaguicidas y biofertilizantes y elabora productos formulados. Asimismo, dispone de una planta para el escalamiento de los productos a nivel piloto y ha registrado varios productos que se encuentran en el mercado, y licenciado tecnologías de formulación a empresas internacionales. AGROSAVIA cuenta a su vez con bancos de germoplasma con interés agropecuario, que incluyen una amplia variedad de microorganismos biocontroladores y biofertilizantes. Su Departamento de Bioproductos realiza análisis de prefactibilidad y de mercado.

⁵² Por ejemplo, el INIA desarrolló y produce un bioinsumo que se comercializa en una presentación para una hectárea que contiene sachet con la dosis justa para una mochila.

AGROSAVIA también se involucra en la capacitación y el asesoramiento técnico y tiene un importante papel en la transferencia de tecnología y conocimientos a quienes se dedican a la actividad agrícola. Junto a la Agencia de Desarrollo Rural (AGD) lanzó la campaña Consumo Bioinsumo, para concientizar sobre el uso de insumos biológicos en la agricultura y promover prácticas sostenibles y amigables con el medio ambiente. También ha establecido una alianza con la Agencia de Cooperación Internacional de la República de Corea para desarrollar programas de capacitación para profesionales que trabajan en agricultura.

Cabe señalar, además, que la institución se encuentra actualmente participando de negociaciones con el Banco Mundial para crear un programa destinado a fortalecer sus capacidades en esta agenda, lo que representaría una innovación institucional a nivel regional.

Siguiendo con los mecanismos de extensionismo centrados en bioinsumos, en Costa Rica tiene un rol fundamental el Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica, un centro de formación técnica del Instituto Nacional de Aprendizaje, creado para fomentar la producción sostenible y orgánica en el país y en Centroamérica.

Finalmente, en México, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, en colaboración con el IICA, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, implementa el proyecto BioPasos. Esta iniciativa busca promover prácticas agroecológicas y modelos de producción sustentables en paisajes agroforestales a través de tres líneas de acción: implementación de prácticas agroecológicas; manejo y conservación de la biodiversidad y generación y transferencia de conocimientos y tecnologías. El proyecto trabaja con más de 3 000 productores/as en cinco estados de México, involucrando a las comunidades locales y fortaleciendo sus capacidades en agroecología y conservación de la biodiversidad, para asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

4.4. INICIATIVAS SOBRE BIOINSUMOS CON FINANCIAMIENTO INTERNACIONAL

Con el fin de comprender el rol que actualmente desempeñan las instituciones financieras internacionales en la promoción del desarrollo y la adopción de bioinsumos, en el marco de este estudio se singularizaron los proyectos de las principales instituciones –Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA)–, además de aquellos ejecutados por la FAO y el IICA. El objetivo fue identificar marcos estratégicos para inversiones específicas en el área de bioinsumos.

En total, se examinaron más de 350 proyectos, disponibles en los sitios web de los organismos; y, en el caso de FAO, recurriendo a su sistema interno. Se trata de proyectos en implementación, o recientemente aprobados, que mencionan o incluyen los enfoques de economía circular, bioeconomía y agroecología, considerados potenciales puerta de entrada para el desarrollo de los bioinsumos. Cabe aclarar que es posible que existan documentos que no hayan sido identificados por no estar disponible en los motores de búsqueda de proyectos y documentos país en los respectivos sitios web.

El creciente interés en la producción y uso de los bioinsumos por parte de quienes se dedican a la producción agrícola y de las organizaciones beneficiarias de los proyectos de desarrollo rural, se plasma principalmente a través de la demanda de subproyectos financiados en el marco de “ventanillas” o instrumentos basados en la demanda. Sin embargo, estos proyectos no suelen reflejarse en los documentos estudiados.

Aun así, el trabajo de selección permitió identificar 12 proyectos país en los que se menciona explícitamente el apoyo al desarrollo de bioinsumos bajo una estrategia específica (ver Figura 10), tres proyectos del IICA y seis proyectos regionales financiados por el BID, el Fondo Verde para el Clima (GCF, por sus siglas en inglés) y la FAO (ver Cuadro 11).⁵³

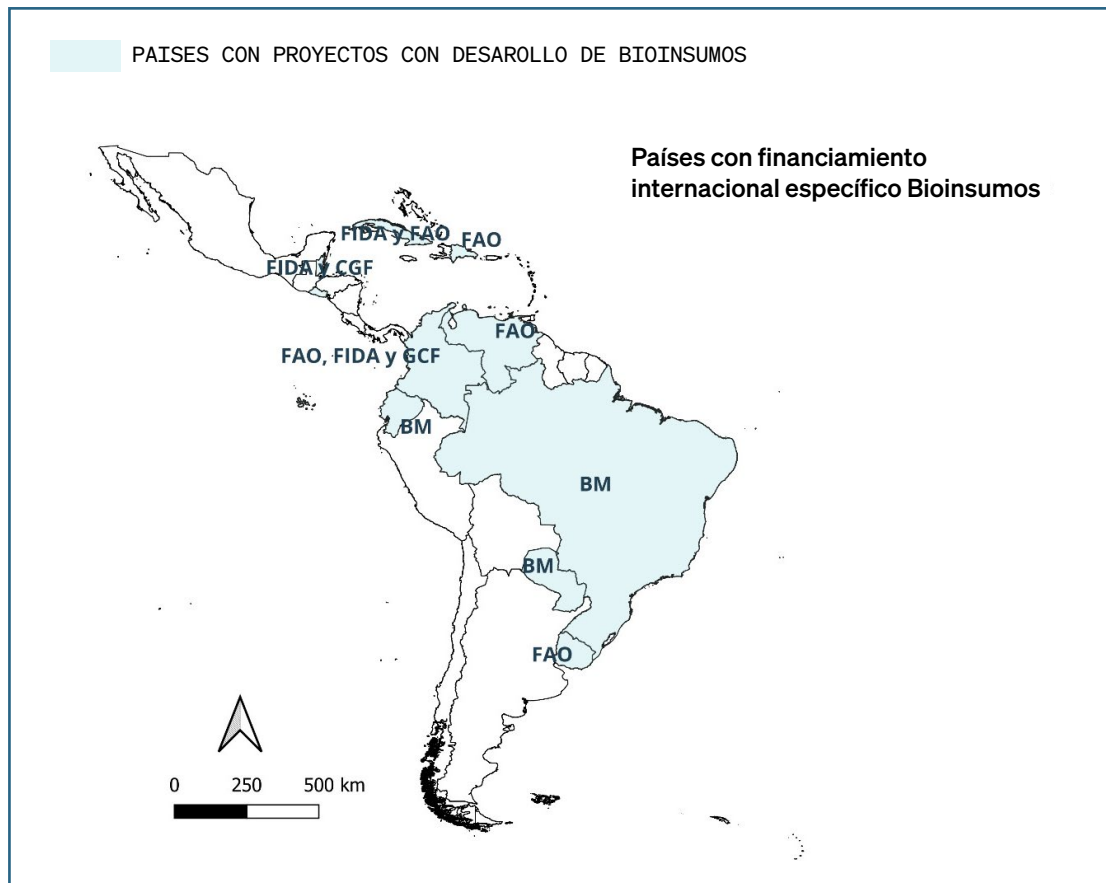


Figura 10
Países con proyectos activos al segundo semestre 2023, con actividades y abor-
dajes específicos sobre bioinsumos y financiamiento internacional

FUENTE: elaboración propia. Mapa conforme a la mapa de la ONU para la región CEPAL. <https://www.un.org/geospatial/content/economic-commission-latin-america-and-caribbean-eclac>

⁵³ En el Anexo 6 se pueden encontrar más detalles sobre estos proyectos.

Cuadro 11

Proyectos regionales con actividades específicas de bioinsumos de financiamiento internacional

Proyectos regionales con desarrollo específico de bioinsumos	Fuente de financiamiento	Alcance geográfico
Líneas de investigación regionales en proyectos consensuados	BID-FONTAGRO	América Latina y el Caribe
Proyecto de prácticas de adaptación basada en los ecosistemas para aumentar la resiliencia climática en el Corredor Seco Centroamericano y el Árido	GCF	Honduras, Nicaragua, Guatemala, República Dominicana y El Salvador
Cooperación técnica en el Caribe para producción de biofertilizante a partir de subproductos de la acuicultura	FAO-GEF	Caribe

FUENTE: elaboración propia.

Se puede observar que el desarrollo de actividades e inversiones en bioinsumos financiadas por instituciones financieras internacionales es aún incipiente en la región. Los proyectos identificados promueven, en general, la adopción y producción de biofertilizantes en forma de compost para el autoabastecimiento, no aprovechando las oportunidades para el escalamiento y desarrollo de productos más innovadores.

En esta línea, la mayoría de los proyectos cuenta con un componente de asistencia técnica a productores/as y al personal que brinda asistencia técnica, mientras que un número menor incluye asistencia al personal que trabaja en investigación. A su vez, pocos proyectos se enfocan conjuntamente en la producción y adopción de bioinsumos, abarcando oferta y demanda. Los que lo hacen, apoyan el establecimiento de biofábricas para productos que ya desarrollados.

Por otro lado, si bien se hallaron proyectos enfocados en el desarrollo e investigación de un bioinsumo específico como respuesta a una plaga de alto interés, en estos casos se brinda asistencia e inversión a nivel de investigación y desarrollo, pero no en escalamiento y adopción. En este contexto, la FAO cuenta con varios proyectos con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) y de asistencia técnica específica para el desarrollo de bioinsumos. Estos incluyen apoyo técnico, así como apoyo a inversiones públicas con ese fin. También cabe destacar que, de las cuatro iniciativas regionales financiadas por el BID y FONTAGRO, tres se enfocan en el desarrollo de bioinsumos específicos.

En relación con la distribución geográfica de los proyectos, se observa que la mayoría se concentran en Sudamérica, principalmente en la Argentina, el Brasil, Colombia y el Uruguay. En el Caribe, por el contrario, es donde menos proyectos activos hay. La excepción es Cuba, que cuenta con proyectos financiados por el FIDA y GEF, lo que responde a una agenda y políticas de gobierno ya instauradas (ver Recuadro 3).

También en Cuba, además de en el Brasil y Colombia, se encuentra la mayor parte de los pocos proyectos que contemplan tanto el desarrollo como la adopción de bioinsumos. Estos tres países son pioneros en institucionalizar la promoción de bioinsumos, y las instituciones financieras internacionales responden a los objetivos estratégicos de cada país. Aprender de estos casos es clave para impulsar el escalamiento de esta temática en América Latina y el Caribe.

Finalmente, cabe destacar la heterogeneidad de enfoques estratégicos priorizados por las instituciones financieras internacionales. Por ejemplo, el BID utiliza el de bioeconomía, mientras que el FIDA prioriza el enfoque agroecológico. El enfoque de economía circular es el menos utilizado –solo aparece en algunos proyectos del BID, la FAO, el GEF y el Banco Mundial. La agroecología, junto con la biotecnología, asoma como un enfoque transversal, incluyendo los bioinsumos como una innovación para el desarrollo de sistemas productivos sostenibles, resilientes y competitivos.



Capítulo 5

Orientaciones para la promoción de inversiones en bioinsumos

Este informe dio cuenta de que existe importante evidencia científica sobre los beneficios de adoptar los bioinsumos. Por un lado, estos contribuyen a incrementar los rendimientos agrícolas a mediano y largo plazo. Por el otro, permiten reducir las externalidades ambientales y sociales negativas del paquete tecnológico predominante en la producción agrícola. Asimismo, su incorporación tiene el potencial de regenerar parte del capital natural consumido, reducir la huella de carbono de la producción agrícola y aumentar la resiliencia de esta al cambio climático. El desarrollo de bioinsumos también valoriza los recursos biológicos locales, contribuyendo así a la preservación de la biodiversidad.

Aunque la evidencia en este ámbito aún es escasa, los resultados de la Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe indican que la adopción de bioinsumos también contribuye a reducir los costos de producción agrícola. Además, como los bioinsumos de menor complejidad tecnológica puedan ser producidos por quienes se dedican a la agricultura –de manera individual o asociada–, estas personas pueden reducir su dependencia de insumos externos, elevar su participación en la generación del valor de las cadenas de producción agrícola y abrir nuevas oportunidades de negocio y de empleo en áreas rurales. Por último, la disponibilidad de capacidades científico-tecnológicas y empresarias, conjugada con la mayor similitud que presentan entre sí las condiciones agroecológicas y los perfiles sectoriales de producción de los países de la región, constituyen una oportunidad para el crecimiento de la cooperación Sur-Sur y el comercio intrarregional de estas tecnologías.

Esta pluralidad de posibles beneficios y oportunidades hace que la promoción de los bioinsumos resulte un componente fundamental para impulsar los sistemas agroalimentarios sostenibles en América Latina y el Caribe, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, las Contribuciones Nacionales Determinadas, el Convenio de Diversidad Biológica y los principios y el plan de acción *One-Health*. Teniendo en cuenta que es una temática en la que se requiere inversión de mediano y largo plazo para acompañar una transición

hacia un nuevo paradigma productivo, y que permite concretar resultados bajo distintos enfoques estratégicos (adaptación y mitigación del cambio climático, preservación de la agrobiodiversidad, agroecología, prestación de servicios ambientales, bioeconomía y economía circular), los bioinsumos abren una ventana de oportunidad para una inserción más activa e integral por parte de las instituciones financieras internacionales. En particular, tienen un gran potencial para generar aproximaciones innovadoras en proyectos con financiamiento ambiental y climático; que apunten procesos de transición agroecológica; escalamiento de soluciones para personas o emprendimientos que producen a pequeña escala; desarrollo tecnológico; o bienes públicos regionales, entre otros.

A continuación se presenta una síntesis de algunas áreas de impacto potencial de las iniciativas en bioinsumos, en línea con enfoques estratégicos y marcos de resultados del desarrollo sostenible a nivel global (ver Figura 11).

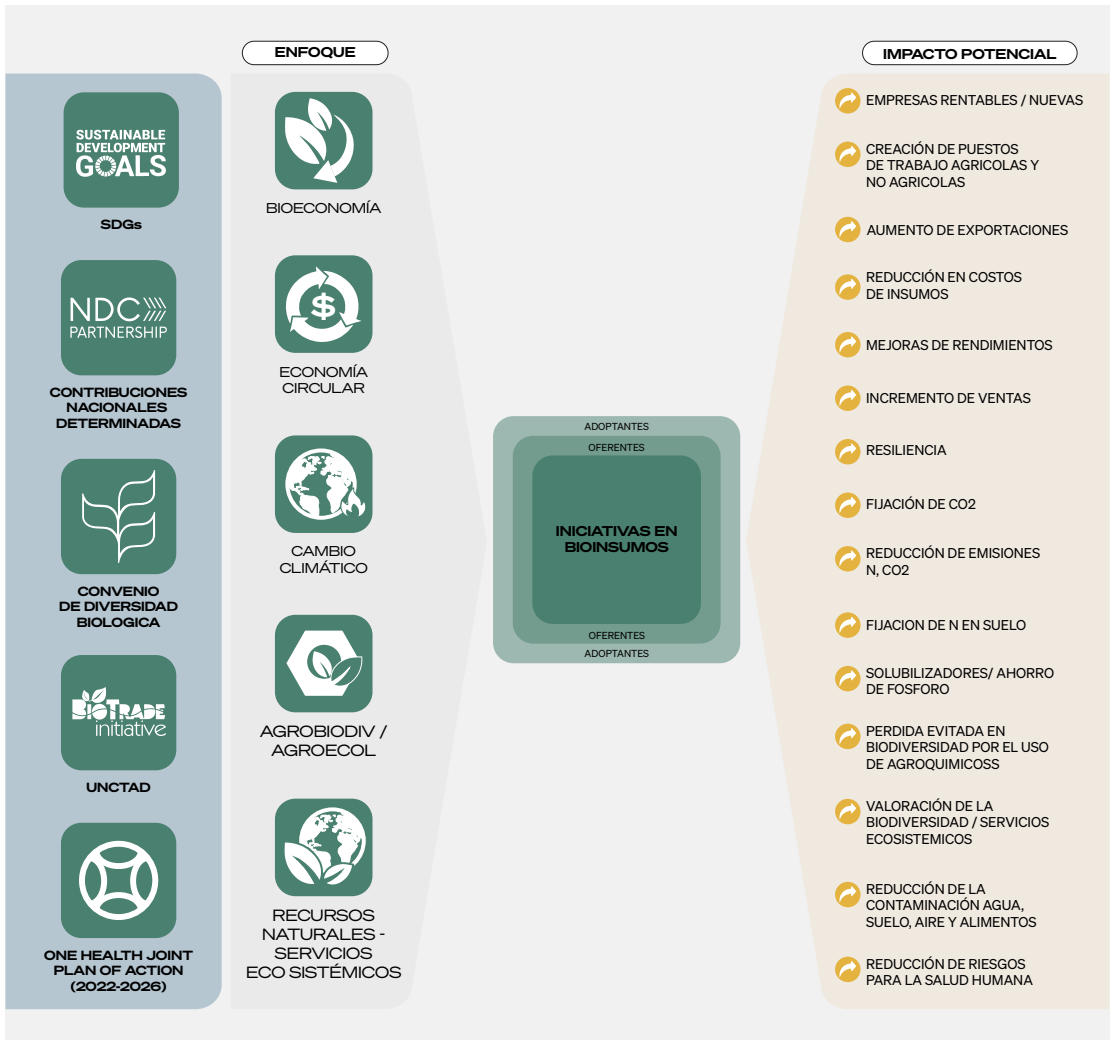


Figura 11
Abordaje estratégico y áreas de impacto potencial

FUENTE: elaboración propia.

Finalmente, a continuación, se entrega una serie de orientaciones para guiar el diálogo de políticas y las acciones tendientes a construir entornos habilitantes que contribuyan a facilitar el desarrollo y la adopción de bioinsumos en la región, así como una serie de lineamientos para el diseño de programas y proyectos de inversión pública

5.1. ORIENTACIONES PARA EL DIÁLOGO DE POLÍTICAS Y LA CONSTRUCCIÓN DE ENTORNOS HABILITANTES

- Articular políticas científico-tecnológicas, de innovación, educativas, de desarrollo productivo y de fortalecimiento organizacional, que no pierdan de vista las demandas y necesidades de los/as productores/as agrícolas, para que los bioinsumos formen parte de una transición hacia sistemas agroalimentarios sostenibles.
- Contemplar la regulación de la producción y comercialización de bioinsumos.
- Elaborar procedimientos de evaluación adecuados a las particularidades de los bioinsumos, en lugar de someterlos a los mismos procedimientos aplicados a agroquímicos. Esto último eleva las barreras de entrada al sector e induce estrategias de registro que luego conspiran contra la adecuada difusión de los productos, en particular en el caso de los bioplaguicidas. También es preciso capacitar al personal de los organismos regulatorios para implementar eficazmente dichos procedimientos, considerando la necesidad de incorporar nuevos perfiles con otras especializaciones.
- Definir protocolos y generar capacidades para la instrumentación efectiva de los marcos legales que buscan regular los derechos sobre los beneficios resultantes del desarrollo de nuevos bioinsumos, a partir del aprovechamiento de la biodiversidad. Esto no solo contribuirá al cumplimiento de los marcos legales establecidos –que persiguen una distribución inclusiva de esos beneficios–, sino que también facilitará y acelerará la gestión y obtención de las licencias, y reducirá el riesgo de potenciales conflictos.
- Diseñar lineamientos para un control inteligente de la autoproducción, en particular de los bioinsumos que presentan mayor riesgo.
- Crear o fortalecer las redes nacionales de laboratorios encargados de los ensayos regulatorios.
- Revisar las normas de funcionamiento de los institutos nacionales de tecnología agropecuaria, para impulsar el aprovechamiento social del conocimiento y los desarrollos allí generados, facilitando los procesos de creación de spin-offs y de vinculación tecnológica con el sector privado y las asociaciones agrícolas.
- Emular las experiencias de los países de la región en lo que concierne a la gobernanza de las políticas públicas orientadas a bioinsumos, como en lo referido a las adecuaciones e implementaciones de los marcos regulatorios. De todas formas, la

cooperación entre países de la región debe trascender el intercambio de conocimientos y experiencias, para incluir la homogeneización de nomencladores, el reconocimiento mutuo de áreas agroecológicas para la validación de ensayos o la colaboración en agendas de I+D para responder a desafíos comunes, entre otros aspectos.

- Trascender la generación de incentivos para los actores productivos de las inversiones, para dar lugar a nuevas prácticas agrícolas, que pasen de la respuesta rápida a una lógica preventiva, y de abordajes parciales a manejos integrados de plagas y fertilidad. Para ello, es necesario integrar estos temas en los currículos de pregrado, formación técnica, grado y postgrado.

5.2. ORIENTACIONES PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA

5.2.1. Lineamientos generales para la definición de actividades

- Adaptar apoyos a la agricultura hacia la generación de incentivos para la adopción y la elaboración de bioinsumos para autoconsumo. Ahora bien, no basta con limitarse a ello, dado que es acotado el universo de productos que pueden obtenerse de forma segura en finca.
- Instituir abordajes integrales, en los que se promueva también el crecimiento y la diversificación de la oferta. Esto es crucial, dados los obstáculos asociados a la falta de disponibilidad y las disparidades en la calidad de los bioinsumos disponibles en el mercado.
- Adecuar el conjunto de actividades a las condiciones de entorno habilitantes que imperen en cada país.
- Integrar en la teoría del cambio las externalidades ambientales y sociales asociadas a las prácticas individuales.
- Fortalecer las capacidades de I+D de los institutos nacionales de tecnología agropecuaria, para ampliar el conocimiento sobre el potencial productivo de la biodiversidad propia de cada territorio, cerrar las brechas de conocimiento existentes y transformar ese conocimiento en tecnologías que puedan ser escaladas, validadas y adoptadas.
- Continuar promoviendo la documentación de experiencias de Investigación-acción participativa y estudios y ensayos basados en las necesidades de productores/as agrícolas. Así, se podrá contar un caudal mayor de evidencia sobre áreas potenciales de impacto de los bioinsumos, como la valorización de la biodiversidad, la disminución de la contaminación en el suelo o la disminución de emisiones de GEI. También permitirá proveer información imparcial y confiable sobre la calidad y efectividad de la oferta de mercado.
- Considerar la adaptación de apoyos a la agricultura con enfoque plurianual, para favorecer el acceso a insumos con menor huella ambiental, como bioinsumos; en particular para el caso de los/as productores/as agrícolas de menor tamaño, de modo de incentivar el cambio de prácticas, bajar la percepción del riesgo y compensar los flujos financieros que pudieran demorar en reportar saltos de rendimiento o reducción de costos.

- Entregar asistencia técnica y acompañamiento sostenido para facilitar el cambio de prácticas, en forma plurianual, y asegurar la adopción de nuevas prácticas y la sostenibilidad. Esto se suma a las inversiones necesarias para capacitar a extensionistas.

Los puntos anteriores pueden implicar un mayor costo por persona beneficiaria de los programas o proyectos debido a los mayores costos de transacción en los apoyos y asistencia técnica plurianuales, sobre todo cuando se apoyan transiciones sin un salto discreto inmediato en corto plazo.

El Anexo 7 presenta algunas problemáticas e intervenciones sugeridas, según actores relevantes.

5.2.2. Lineamientos generales para el monitoreo y evaluación y gestión del conocimiento

- Promover estudios y análisis microbiológicos de suelos o de residuos tóxicos en cuerpos de agua asociados a la agricultura, para reflejar el impacto logrado en materia de fijación de minerales, emisión de GEI, recuperación de la salud del suelo y disminución de la contaminación. Esto demandará esfuerzos, metodologías y capacidades generalmente no contemplados, en particular en lo referente a la confección de líneas de base.
- Asegurar alianzas con socios en la gestión del conocimiento especializados, para documentar resultados y aumentar la evidencia existente sobre el impacto de invertir en bioinsumos.

En el Anexo 8 se presentan posibles indicadores de producto, de resultado y estratégicos para programas y proyectos vinculados a la promoción de bioinsumos.

5.2.3. Orientaciones para reducir el riesgo de la inversión privada en bioinsumos

Adopción

- Realizar campañas de comunicación y difusión, escuelas de campo, intercambios de experiencias, metodologías de aprendizaje experimental (donde se realiza la prueba y utilización de los bioinsumos como parte de un conjunto de prácticas y métodos) y centros demostrativos donde los/as productores/as sean protagonistas, para revertir la percepción de que invertir en bioinsumos es riesgoso.
- Realizar estudios técnicos que analicen la viabilidad financiera de la autoproducción y adopción por parte de los/las productores/as a partir de las soluciones existentes en el mercado.
- Proveer asistencia técnica para promover la incorporación de los productos biológicos no como un sustituto de los agroquímicos, sino como parte de una estrategia de manejo integrado de plagas y fertilidad de los suelos.
- Financiar planes de negocio en el segmento de productores/as de baja capitalización para reducir el riesgo asociado a caídas iniciales de la productividad en las primeras experiencias de inversión, hasta lograr consolidar un flujo financiero estable en un nuevo paradigma tecno productivo.

Desarrollo y producción

- Promover estrategias de inversión de bajo riesgo en las cadenas de valor de bioinsumos. Es importante seguir una estrategia diferenciada por tipología de cadena, tipo de producto y capacidades de cada actor productivo.
- Fortalecer organizaciones de pequeños/as productores/as para favorecer el escalamiento productivo de las soluciones tecnológicas y su aprovechamiento por parte de estos. Para aprovechar la oportunidad que implica la producción de bioinsumos de cierta complejidad, se requieren niveles de escala mínima que justifiquen la inversión en equipamiento y la contratación de personal técnico, indispensables para mitigar los riesgos asociados, sobre todo a la producción en base a microorganismos aislados. Como se vio en el capítulo 1, el monto de esa inversión se encuentra dentro de los parámetros habitualmente contemplados por los programas de desarrollo para inversiones colectivas. Además, hay oportunidades para financiar planes de negocio en el marco de vinculaciones entre privados con enfoque de cadenas inclusivas.
- Financiar esfuerzos privados de desarrollo tecnológico y escalamiento productivo de tecnologías innovadoras. Apuntalar la industria del capital de riesgo privado es uno de los caminos para ello. Sin embargo, dado que las condiciones de retorno económico esperadas por esos actores en muchos casos no se verifican, es fundamental incentivar la vinculación tecnológica entre las organizaciones de productores/as, las empresas oferentes de bioinsumos y el subsistema científico-tecnológico.

³⁴ 19.8 percent of a calendar year corresponds to about 72.3 days, or about 2.4 months when using 30 days/month.





Referencias

- Aguirre, P. F., Giacomini, S. J., Olivo, C. J., Bratz, V. F., Quatrin, M. P. y Schaefer, G. L. 2020. Biological nitrogen fixation and urea-N recovery in 'Coastcross-1' pasture treated with *Azospirillum brasilense*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55.
- Aguirre, P. F., Olivo, C. J., Rodrigues, P. F., Falk, D. R., Adams, C. B. y Schiafino, H. P. 2018. Forage yield of Coastcross-1 pastures inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40.
- Ali, M. A., Naveed, M., Mustafa, A. y Abbas, A. 2017. The good, the bad, and the ugly of rhizosphere microbiome. En: V. Kumar, M. Kumar, S. Sharma y R. Prasad (coords.). *Probiotics and Plant Health*, 253-290. Singapur, Springer.
- Allen, G. E. y Knell, J. D. 1977. A nuclear polyhedrosis virus of *Anticarsia gemmatalis*: I. Ultrastructure, replication, and pathogenicity. *Florida Entomologist*, 60: 233-240.
- Allied Market Research. 2022. Fertilizer Market. Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2030. En: *Allied Market Research* [Consultado el 1 de marzo de 2023]. www.alliedmarketresearch.com/fertilizer-market-A16556
- Amr, S., Dawson, R., Saleh, D. A. A., Magder, L. S., St. George, D. M., El-Daly, M. ... y Loffredo, C. A. 2015. Pesticides, gene polymorphisms, and bladder cancer among Egyptian agricultural workers. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 70(1): 19-26.
- Arrebola, J. P., Belhassen, H., Artacho-Cordón, F., Ghali, R., Ghorbel, H., Boussem, H. ... y Olea, N. 2015. Risk of female breast cancer and serum concentrations of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls: A case-control study in Tunisia. *Science of the Total Environment*, 520: 106-113.
- Ashrafi, E., Morteza, Z. y Jamshid, R. 2014. Co-inoculations of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia under salinity in alfalfa. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(5): 619-629.
- Aubert, G., Penato, C. y Sarthou, V. 2018. Biological input. En: *dicoAE. Dictionary of Agroecology* [Consultado el 8 de mayo de 2023]. <https://dicoagroecologie.fr/en/dictionnaire/biological-input/>
- Ayilara, M. S., Adeleke, B. S., Akinola, S. A., Fayose, C. A., Adeyemi, U. T., Gbadegesin, L. A. y Babalola, O. O. 2023. Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: A case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. *Frontiers in Microbiology*, 14.
- Bailey, H. D., Infante-Rivard, C., Metayer, C., Clavel, J., Lightfoot, T., Kaatsch, P. ... y Schüz, J. 2015. Home pesticide exposures and risk of childhood leukemia: Findings from the childhood leukemia international consortium. *International Journal of Cancer*, 137(11): 2644-2663.
- Basso, S. y Genovesi L. M. 2016. *Documento de diagnóstico: propiedad intelectual y biotecnología*. Buenos Aires, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.
- Bélanger, J. y D. Pilling, D. (dirs.). 2019. *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. Roma, FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments.

- Calvo, P., Nelson, L. y Kloepper, J. W.** 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*, 383: 3-41.
- Carner, G. R. y Turnipseed, S. G.** 1977. Potential of a nuclear polyhedrosis virus for control of the velvetbean caterpillar in soybean. *Journal of Economic Entomology*, 70(5): 608-610.
- Cassman, K. G., Dobermann, A., y Walters, D. T.** 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 31(2): 132-140.
- Celador-Lera, L., Jiménez-Gómez, A., Menéndez, E. y Rivas, R.** 2018. Biofertilizers based on bacterial endophytes isolated from cereals: Potential solution to enhance these crops. En: V. Meena (coord.), *Role of Rhizospheric Microbes in Soil*, 175-203. Singapur, Springer.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).** s/f. Observatorio Regional para la Planificación del Desarrollo de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe. En: *CEPAL*, Santiago. [consultado el 1 de marzo de 2023]. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es>
- CEPAL, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).** 2021. *Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022*. San José, Costa Rica, IICA.
- Cesco, S., Lucini, L., Miras-Moreno, B., Borruso, L., Mimmo, T., Pii, Y., Puglisi, E., Spini, G., Taskin, E., Tiziani, R., Zangrillo, M. S. Trevisan, M.** 2021. The hidden effects of agrochemicals on plant metabolism and root-associated microorganisms. *Plant Science*, 311.
- Chandler D., Bailey A., Tatchell, M., Davidson, G., Greaves, J. y Grant, W.** 2011. The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Phil. Trans. R. Soc.*, 366.
- Chang-Cong, L., Tao Li, Y.-p. X., Mao-Jun, L., Han-Bo, Z. y Zhi-Wei, Z.** 2019. Effects of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on maize growth and nitrogen uptake under different fertilization conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 1711-1722.
- Chorfa, A., Lazizzera, C., Bétemps, D., Morignat, E., Dussurgey, S., Andrieu, T. y Baron, T.** 2016. RETRACTED ARTICLE: A variety of pesticides trigger in vitro a-synuclein accumulation, a key event in Parkinson's disease. *Archives of Toxicology*, 90(5): 1279-1279.
- Cotes, A. M., Fargetton, X. y Köhl, J.** 2018. Diseño conceptual, selección y prueba de concepto de microorganismos biocontroladores. En: A. M. Cotes (dir.). *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros. Volumen 2. Aplicaciones y perspectivas*, 594-627. Bogotá, Editorial AGROSAVIA.
- Cruvinell, A., Silva, T. M., Rocha, M. A. M., Azevedo, M. O., Aguilera, J. G., Bernardo, M. L. T. y de Almeida, J. E. M.** 2022. Rentabilidade na produção de soja na fazenda Bom Jardim Lagoano com manejo de biológicos "on farm". *Research, Society and Development*, 11(14).
- Daccò, C., Nicola, L., Eleonora Temporiti, M. E., Mannucci, B., Corana, F., Carpani, G. y Tosi, S.** 2020. Trichoderma: Evaluation of Its Degrading Abilities for the Bioremediation of Hydrocarbon Complex Mixtures. *Applied Sciences*, 10(9): 3152.
- Damalas, C. A. y Koutroubas, S. D.** 2018. Current status and recent developments in biopesticide use. *Agriculture*, 8(1): 13.

- Delgado, J. y Follet, R. F. (coords.).** 2010. *Advances in nitrogen management for water quality*. Ankeny (Estados Unidos), Soil and Water Conservation.
- Dessaux, Y., Grandclément, C. y Faure, D.** 2016. Engineering the rhizosphere. *Trends Plant Sci*, 21(3): 266-278.
- Dos Santos, R. M., Díaz, P. A. E., Lobo, L. L. B. y Rigobelo, E. C.** 2020. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: Characteristics and applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4.
- Du Jardin, P.** 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories, and regulation. *Scientia horticultrae*, 196: 3-14.
- Eilenberg, J., Hajek, A. y Lomer, C.** 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46(4): 387-400.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA).** 2022a. What are Biopesticides? En: EPA, Washington, D. C. [Consultado el 6 de diciembre de 2022]. <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/what-are-biopesticides#classes>
- EPA.** 2022b. Slowing and Combating Pest Resistance to Pesticides. En: EPA, Washington, D. C. [Consultado el 6 de diciembre de 2022]. <https://www.epa.gov/pesticide-registration/slowing-and-combating-pest-resistance-pesticides>
- Eugenio Rodríguez, N., McLaughlin, M. y Pennock, D.** 2019. *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma, FAO.
- FAO.** 2012. *International code of conduct on the distribution and use of pesticides. Guidelines on prevention and management of pesticide resistance*. Roma.
- FAO.** 2018. *Los 10 elementos de la agroecología. Guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles*. Roma.
- FAO.** 2021. *Hacia una agricultura sostenible y resiliente en América Latina y el Caribe - Análisis de siete trayectorias de transformación exitosas*. Santiago.
- FAO.** 2022a. FAOSTAT. Indicadores de plaguicidas. En: FAOSTAT [Consultado el 1 de marzo de 2023]. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/EP>
- FAO.** 2022b. *Pesticides and environmental incidents: Rotterdam Convention on the prior informed consent procedure for certain hazardous chemicals and pesticides in international trade*. Rome.
- Farrell, M., Webb, M. J., Wong, M., Abbott, L. y Macdonald, L.** 2016. Biological Farming Inputs – A practical guide to on-farm testing. En: CSIRO Agriculture & Food [consultado el 1 de marzo de 2023]. https://s3.amazonaws.com/soilqualityproduction/fact_sheets/124/original/CSIRO_BiosPracGuideV2.pdf?1487056650
- Fazeli-Nasab, B., Shahraki-Mojahed, L., Piri, R. y Sobhanizadeh, A.** 2022. Trichoderma: Improving growth and tolerance to biotic and abiotic stresses in plants. *Developments in Applied Microbiology and Biotechnology*, Academic Press: 525-564.
- Fenibo, E. O., Ijoma, G. N. y Matambo, T.** 2021. Biopesticides in sustainable agriculture: A critical sustainable development driver governed by green chemistry principles. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 619058.
- Finkel, O. M., Castrillo, G., Herrera, Paredes, S., Salas González, I. y Dangl, J. L.** 2017. Understanding and exploiting plant beneficial microbes. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 38: 155-163.

- Flint, M. L.** 1998. *Pests of the garden and small farm: a grower's guide to using less pesticide*. Oakland, Estados Unidos, University of California, Agriculture and Natural Resources.
- Flueckiger, C.** 2021. Tools for sustainable agriculture of the future: Biopesticides will be able to control pests, diseases, and weeds — and make crops more resistant to climate change. En: *AgroPages* [consultado el 1 de marzo de 2023]. <https://geneticliteracyproject.org/2021/04/26/tools-for-sustainable-agriculture-of-the-future-biopesticides-will-be-able-to-control-pests-diseases-and-weeds-and-make-crops-more-resistant-to-climate-change-effects/>
- Fortune Business Insights.** 2022. Crop Protection Chemicals Markets Size, Share & Covid 19. En: *Fortune Business Insights* [Consultado el 10 de enero de 2023]. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/crop-protection-chemicals-market-100080>
- Gauld, I. y Bolton, B.** (coords.) 1988. *The Hymenoptera*. Oxford, Oxford University Press.
- Gobierno de México.** 2023. Plataforma Mexicana de Productores de Bioinsumos. En: *Portal Mexicano de Productores de Bioinsumos, Ciudad de México*. [Consultado el 15 de enero de 2023]. <https://bioinsumos-agricultura.mx/>
- Gómez, M., Alarcón, A., León, M., Oehlschlager, C. y Solórzano, L.** 2018. Comercialización de agentes de control biológico. En A. M. Cotes (coord). *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros. Volumen 2. Aplicaciones y perspectivas*, 762-793. Bogotá, Editorial AGROSAVIA.
- Goulet, F.** 2021. Biological inputs and agricultural policies in South America: between disruptive innovation and continuity. *Perspective*, (55): 1-4.
- Goulet, F. y Krotsch, T. P.** 2020. Políticas públicas para los bioinsumos: hacia un espacio de intercambio en América Latina y El Caribe. *Blog IICA*. En: *IICA*. [consultado el 15 de enero de 2023]. <https://blog.iica.int/blog/politicas-publicas-para-los-bioinsumos-hacia-un-espacio-intercambio-en-america-latina-caribe>
- Gouma, S., Fragoeiro, S., Bastos, A. C. y Magan, N.** 2014. Bacterial and fungal bioremediation strategies. En: D. Surajit (coord.), *Microbial Biodegradation and Bioremediation*, 301-323. Amsterdam, Elsevier.
- Grabka, R., d'Entremont, T., Adams, S., Walker, A., Tanney, J., Abbasi, P. y Ali, S.** 2022. Fungal Endophytes and Their Role in Agricultural Plant Protection against Pests and Pathogens. *Plants*, 11(3): 384.
- Hadidi, M., Bahlaouan, B., Antri, S. E., Benali, M. y Boutaleb, N.** 2022. Biotransformation of food waste to bio-products: biogas and biofertilizer. *International Journal of Environmental Studies*, 1-15.
- Han, S. W. y Yoshikuni, Y.** 2022. Microbiome engineering for sustainable agriculture: using synthetic biology to enhance nitrogen metabolism in plant-associated microbes. *Current Opinion in Microbiology*, 68.
- Handayani, I. P. y Hale, C.** 2022. Healthy Soils for Productivity and Sustainable Development in Agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1018.
- Hashem, A., Tabassum, B. y Abd_Allah, E. F.** 2019. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6): 1291-1297.
- Hickman, J. E., Kaya, B., Kebede, A., Kandji, S., Fitch, L., Neill, C. y Palm, C. A.** 2021. Little effect of land use on N₂O and NO emission pulses following rewetting of dry soils across seasonally dry sub-Saharan Africa.

- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)**. 2004. *Resolución 00375*. Bogotá.
- ICA**. 2011. *Resolución 0698*. Bogotá.
- ICA**. 2020. *Resolución 068370*. Bogotá.
- ICA**. 2023. Fertilizantes y Bioinsumos. En: ICA, Bogotá. [Consultado el 15 de enero de 2023]. <https://www.ica.gov.co/getdoc/a5c149c5-8ec8-4fed-9c22-62f31a68ae49/fertilizantes-y-bioinsumos-agricolas.aspx>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)**. 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (coords.)]. Cambridge University Press, Nueva York.
- Islam, N.** 2017. Crossing the Valley of Death-An Integrated Framework and a Value Chain for Emerging Technologies. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 64(3): 389-399.
- Izquierdo-García, L. F., Cotes, A. M. y Moreno-Velandia, C. A.** 2021. Screening for effective microbial consortia against Fusarium wilt of cape gooseberry (*Physalis peruviana*). *BioControl*, 66: 713-725.
- Jaacks, L. M. y Stamez, L. R.** 2015. Association of persistent organic pollutants and non-persistent pesticides with diabetes and diabetes-related health outcomes in Asia: A systematic review. *Environment International*, 76: 57-70.
- Jardim Freire, J. R.** 1982. Research into the Rhizobium/Leguminosae symbiosis in Latin America. *Plant Soil*, 67: 227-239.
- Jha, R., Singh, P. y Prabhat, N.** 2017. The PGPR *Stenotrophomonas maltophilia* SBP-9 Augments Resistance against Biotic and Abiotic Stress in Wheat Plants. *Frontiers in Microbiology*, 8.
- Jucevicius, G., Juceviciene, R., Gaidelys, V. y Kalman, A.** 2016. The emerging innovation ecosystems and “Valley of death”: Towards the combination of entrepreneurial and institutional approaches. *Engineering Economics*, 27(4): 430-438.
- Kamaei, R., Faramarzi, F., Parsa, M. y Mohsen J.** 2019. The effects of biological, chemical, and organic fertilizers application on root growth features and grain yield of Sorghum. *Journal of Plant Nutrition*, 42(18): 2221-2233.
- Kamble, K. J., Thakor, N. J., Sonawane, S. P. y Sawant, A. A.** 2016. Review on need of utilization of biopesticides in agriculture for safe environment. Actas de la 3ra Conferencia Internacional “Latest Concepts in Science, Technology and Management”, 26-28 de agosto de 2016, Maharashtra (India).
- Kanchiswamy, C. N., Malnoy, M. y Maffei, M. E.** 2015. Chemical diversity of microbial volatiles and their potential for plant growth and productivity. *Frontiers in Plant Science*, 6(151).
- Kantha, T., Kantachote, D. y Klongdee, N.** 2015. Potential of biofertilizers from selected *Rhodospseudomonas palustris* strains to assist rice (*Oryza sativa* L. *subsp. indica*) growth under salt stress and to reduce greenhouse gas emissions. *Ann Microbiol*, 65: 2109-2118.
- Kaul, S., Choudhary, M., Gupta, S. y Dhar, M. K.** 2021. Engineering host microbiome for crop improvement and sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 12: 635917.

- Kaul, S., Sharma, T. y K. Dhar, M.** 2016. "Omics" tools for better understanding the plant–endophyte interactions. *Frontiers in plant science*, 7: 955.
- Kibblewhite, M. G., Ritz, K. y Swift, M. J.** 2008. Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492): 685-701.
- Kim, K. H., Kabir, E. y Jahan, S. A.** 2017. Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575: 525-535.
- Köhler, H. R. y Triebkorn, R.** 2013. Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond? *Science*, 341(6147): 759-765.
- Koma, S.** 2012. Plants as potential sources of pesticidal agents: a review. En: R. P. Soundararajan (coord.), *Pesticides - Advances in chemical and botanical pesticides*. Londres, InTechOpen.
- Koutros, S., Lynch, C. F., Ma, X., Lee, W. J., Hoppin, J. A., Christensen, C. H., ... y Alavanja, M. C. R.** 2008. Aromatic amine pesticide use and human cancer risk: Results from the US agricultural health study. *Annals of Epidemiology*, 9(18): 720.
- Książek-Trela, P. y Szpyrka, E.** 2022. The effect of natural and biological pesticides on the degradation of synthetic pesticides. *Plant Protection Science*, 58(4): 273-291.
- Kumar, J., Ramlal, A., Mallick, D. y Mishra, V.** 2021. An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants*, 10(6): 1185.
- Lahlali, R., Barka, E. A. y Jemâa, J. M. B.** (coords.). 2022. *The Use of Plant Extracts and Essential Oils as Biopesticides*. Lausana (Suiza), Frontiers Media S. A.
- Lakhal, D., Bahlaouan, B., Boutaleb, N., Bennani, M. y El Antri, S.** 2020. Agricultural valorization by biotransformation of fish wastes combined with grape marc and molasses. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 7: 723-733.
- Lee, D. H., Lind, P. M., Jacobs Jr, D. R., Salihovic, S., van Bavel, B. y Lind, L.** 2016. Association between background exposure to organochlorine pesticides and the risk of cognitive impairment: a prospective study that accounts for weight change. *Environment International*, 89: 179-184.
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I. y Rillig, M. C.** 2020. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10): 544-553.
- Lerro, C. C., Koutros, S., Andreotti, G., Friesen, M. C., Alavanja, M. C., Blair, A. ... y Freeman, L. E. B.** 2015a. Organophosphate insecticide use and cancer incidence among spouses of pesticide applicators in the Agricultural Health Study. *Occupational and Environmental medicine*, 72(10): 736-744.
- Lerro, C. C., Koutros, S., Andreotti, G., Hines, C. J., Blair, A., Lubin, J. ... y Beane Freeman, L. E.** 2015b. Use of acetochlor and cancer incidence in the Agricultural Health Study. *International Journal of Cancer*, 137(5): 1167-1175.
- Leskovar, D., Othman, Y. y Dong, X.** 2016. Strip tillage improves soil biological activity, fruit yield and sugar content of triploid watermelon. *Soil and Tillage Research*, 163: 266-273.

- Li, X., Wu, S., Dong, Y., Fan, H., Bai, Z. y Zhuang, X. 2021. Engineering microbial consortia towards bioremediation. *Water*, 13(20): 2928.
- Mace, G. M., Norris, K. y Fitter, A. H. 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(1):19-26.
- Malinga, L. N. y Laing, M.D. 2022. Role of microbial biopesticides as an alternative to insecticides in integrated pest management of cotton pests in Insecticides. Londres *IntechOpen*.
- Mamani de Marchese A. y Filippone M. P. 2018. Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Rev. Agron. Noroeste Argent*, 38(1): 9-21.
- Martínez-Dalmau, J., Berbel, J. y Ordóñez-Fernández, R. 2021. Nitrogen Fertilization. A Review of the Risks Associated with the Inefficiency of Its Use and Policy Responses. *Sustainability*, 13: 5625.
- Maryam, Z., Sajad, A., Maral, N., Zahra, L., Sima, P., Zeinab, A. ... y Davood, M. 2015. Relationship between exposure to pesticides and occurrence of acute leukemia in Iran. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 16(1): 239-244.
- Matthews, G. 2015. Pesticides: health, safety and the environment. Nueva York (Estados Unidos.), John Wiley & Sons. Inc.
- McIntosh, M. 2019. Biological inputs: Their potential role in soil health management. En: *Ontario Grain Farmer Magazine* [Consultado el 9 de mayo de 2023]. <https://ontariograinfarmer.ca/2019/07/19/biological-inputs/>
- Mendoza Beltrán, A. N., Fitton, N., Schdmit, J. y Hedál Kloverpris, J. 2021. Assessing life cycle environmental impacts of inoculating soybeans in Argentina with *Bradyrhizobium japonicum*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(8):1570-1585.
- Meticulous Research. 2023. Crop Protection Chemicals Market - Global Forecast to 2030. En: *Meticulous Research* [Consultado el 9 de mayo de 2023]. <https://www.meticulousresearch.com/product/crop-protection-chemicals-market-global-forecast-to-2022-2584#:~:text=According%20to%20this%20study%2C%20the,USD%2077.53%20billion%20by%202022>
- Meyer, M. C., Bueno, A., Mazaro, S. M. y Da Silva, J. C. 2022. *Bioinsumos na cultura da soja*. Brasilia, EMBRAPA.
- Minchev, Z., Kostenko, O., Soler, R. y Pozo, M. J. 2021. Microbial consortia for effective biocontrol of root and foliar diseases in tomato. *Frontiers in Plant Science*, 12:756368.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento de Brasil (MAPA). 2021. Novos produtos de baixo impacto para o controle de pragas têm registro publicado. En: *MAPA* [Consultado el 9 de mayo de 2023]. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/novos-produtos-de-baixo-impacto-para-o-controle-de-pragas-tem-registro-publicado>
- Mitter, E. K., Tosi, M., Obregón, D., Dunfield, K. E. y Germida, J. J. 2021. Rethinking crop nutrition in times of modern microbiology: innovative biofertilizer technologies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 606815.
- Mordor Intelligence. 2020. *Global Biological Control Market – Growth, Trends, and Forecast (2020 – 2025)*. Hyderabad (India).
- Mordor Intelligence. 2022a. *Global Biostimulant Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2022-2027)*. Hyderabad (India).

- Mordor Intelligence.** 2022b. South America bioestimulants market - size, share, COVID-19 impact and forecast up to 2029. En: *Mordor Intelligence* [Consultado el 9 de mayo de 2023]. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/south-america-bioestimulants-market>
- Nichols, V., Verhulst, N., Cox, R. y Govaerts, B.** 2015. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. *Field Crops Research*, 183: 56-68.
- Ollerton, J., Winfree, R. y Tarrant, S.** 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3): 321-326.
- Olson, S.** 2015. An analysis of the biopesticide market now and where it is going. *Outlooks on Pest Management*. 26(5): 203-206.
- Orozco, C.** 2022. Sistema Europeo de límites máximos de residuos de plaguicidas y su impacto en la oferta exportable colombiana. *Estudios en Derecho, Comercio & Globalización*, 2.
- Oukala, N., Aissat, K. y Pastor, V.** 2021. Bacterial Endophytes: The Hidden Actor in Plant Immune Responses against Biotic Stress. *Plants*, 10(5): 1012.
- Pacheco, A. R., Moel, M. y Segrè, D.** 2019. Costless metabolic secretions as drivers of interspecies interactions in microbial ecosystems. *Nat Commun*, 10 (103).
- Parc naturel des Plaines de l'Escaut.** 2022. *Bio-intrants. Fiches techniques*. http://plainesdelescaut.be/wikipnpe/files/FichesTechniquesTheDeCompostOxygeneExtra_fichier_fiches-techniques-tco-extraits-de-plante-ferments-lactiques-pnpe.pdf
- Pašková, V., Hilscherová, K., y Bláha, L.** 2011. Teratogenicity and embryotoxicity in aquatic organisms after pesticide exposure and the role of oxidative stress. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 211: 25-61.
- Perry Hope Partners.** 2022a. *Global Biofungicides - Innovative Markets Forecast (2028) report*. Naples, Florida (Estados Unidos).
- Perry Hope Partners.** 2022b. *Global Biofertilizers - Innovative Markets Forecast (2028) report*. Naples, Florida (Estados Unidos).
- Perry Hope Partners.** 2022c. *Global Biostimulants - Innovative Markets Forecast (2028) report*. Naples, Florida (Estados Unidos).
- Polo, E.** 2022. Combate a 'verme silencioso' atesta expansão dos defensivos biológicos. En: *Valor Globo*. [Consultado el 30 de marzo de 2023]. <https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2023/03/15/combate-a-verme-silencioso-atesta-expansao-dos-defensivos-biologicos.ghml>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).** 2016. *El estado de la biodiversidad en América Latina y el Caribe. Una evaluación del avance hacia las metas de AICHI para la diversidad biológica*. Nairobi.
- Puri, A., Padda, K. P. y Chanway, C. P.** 2017. Nitrogen-Fixation by Endophytic Bacteria in Agricultural Crops: Recent Advances. En: Amanullah y S. Fahad, (coords.), *Nitrogen in agriculture*, 73-94. Londres, IntechOpen.
- Qiu, Z., Egidi, E., Liu, H., Kaur, S. y Singh, B. K.** 2019. New frontiers in agriculture productivity: Optimised microbial inoculants and in situ microbiome engineering. *Biotechnology advances*, 37(6): 107371.
- Radhakrishnan, R., Hashem, A. y AbdAllah, E. F.** 2017. Bacillus: a biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. *Front Physiol*, 8: 667.

- Rajashekar, Y., Gunasekaran, N. y Shivanandappa, T. 2010. Insecticidal activity of the root extract of *Decalepis hamiltonii* against stored-product insect pests and its application in grain protection. *Journal of food science and technology*, 47(3): 310-314.
- Research and Markets. 2022. Agricultural biologicals market by product type source, formulation, mode of application, crop type, and geography - Forecast to 2029. En: *Research and Markets* [Consultado el 1 de febrero de 2023]. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5652753/agricultural-biologicals-market-by-product-type#src-pos-13>
- Saad, M. M., Eida, A. A. y Hirt, H. 2020. Tailoring plant-associated microbial inoculants in agriculture: a roadmap for successful application. *Journal of Experimental Botany*, 71(13): 3878-3901.
- Sarandón, S. J. (coord.). 2020. *Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable*. La Plata, Universidad Nacional de La Plata-EDULP.
- Sarwar, M. 2015. The dangers of pesticides associated with public health and preventing of the risks. *International Journal of Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 1(2), 130-136
- Shahid, M. y Khan, M. S. 2022. Ecotoxicological implications of residual pesticides to beneficial soil bacteria: A review. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 188: 105272.
- Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P. y Mathimaran, N. 2018. Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 8.
- Soffritti, I., D'Accolti, M., Lanzoni, L., Volta, A., Bisi, M., Mazzacane, S. y Caselli, E. 2019. The potential use of microorganisms as restorative agents: an update. *Sustainability*, 11(14): 3853.
- Starobinsky, G., Monzón, J., Di Marzo Broggi, E. y Braude, H. 2021. *Bioinsumos para la agricultura que demandan esfuerzos de investigación y desarrollo. Capacidades existentes y estrategia de política pública para impulsar su desarrollo en Argentina*. Documentos de Trabajo del CCE n° 17. Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. Buenos Aires.
- Story, P. y Cox, M. 2001. Review of the effects of organophosphorus and carbamate insecticides on vertebrates. Are there implications for locust management in Australia? *Wildlife Research*, 28(2): 179-193.
- Sumbul, A., Ansari, R. A., Rizvi, R. y Mahmood, I. 2020. Azotobacter: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi journal of biological sciences*, 27(12): 3634–3640.
- Tahat, M. M. Alananbeh, K. A. Othman, Y.I. y Leskovar, D. 2020. Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 12(12): 4859.
- Tang, M., Chen, K., Yang, F. y Liu, W. 2014. Exposure to organochlorine pollutants and type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Plos One*, 15(9).
- Tosi, M., Mitter, E. K., Gaiero, J. y Dunfield, K. 2020. It takes three to tango: the importance of microbes, host plant, and soil management to elucidate manipulation strategies for the plant microbiome. *Canadian Journal of Microbiology*, 66(7): 413-433.
- Tosi, S., Sfeir, C., Carnesecchi, E. y Chauzat, M. P. 2022. Lethal, sublethal, and combined effects of pesticides on bees: A meta-analysis and new risk assessment tools. *Science of The Total Environment*, 156857.

- Tripathi, P., Singh, P. C., Mishra, A., Chauhan, P. S., Dwivedi, S., Bais, R. T. y Tripathi, R. D.** 2013. Trichoderma: a potential bioremediator for environmental clean up. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15: 541-550.
- Van Lenteren, J.C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J. y Urbaneja, A.** 2018. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl*, 63: 39–59.
- Vikas, G., Sharma, N., Gavkare, O., Khachi, B. y Singh, K.D.** 2014. Biopesticides-for Future. *Journal of Industrial Pollution Control*, 30(2): 203-205.
- Wall, D. H. y Nielsen, U. N.** 2012. Biodiversity and ecosystem services: is it the same below ground. *Nature Education Knowledge*, 3(12): 8.
- West, P.C., Gerber, J.S., Engstrom, P.M., Mueller, N. D., Brauman, K. A., Carlson, K. M. y Siebert, S.** 2014. Leverage points for improving global food security and the environment. *Science*, 345(6194): 325-328.
- Wu, L., Jiang, Y., Zhao, F., He, X., Liu, H. y Yu, K.** 2020. Increased organic fertilizer application and reduced chemical fertilizer application affect the soil properties and bacterial communities of grape rhizosphere soil. *Scientific Reports*, 10(1): 1-10.
- Wuepper, D., Le Clech, S., Zilberman, D., Mueller, N. y Finger, F.** 2020. Countries influence the trade-off between crop yields and nitrogen pollution. *Nat Food* 1: 713–719.
- Xavier, L. J. C. y Germida, J. J.** 2003. Selective interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium leguminosarum* bv. viceae enhance pea yield and nutrition. *Biol. Fertil. Soils*. 37: 261-267.
- Yao, Y., Cai, W., Yang, C., Xue, D. y Huang, Y.** 2008. Isolation and characterization of insecticidal activity of (Z)-asarone from *Acorus calamus* L. *Insect Science*, 15(3): 229-236.
- Zhang, X., Guo, J., Vogt, R. D., Mulder, J., Wang, Y., Qian, C., Wang, J., Qian, C. y Wang, J.** 2020. Soil acidification as an additional driver to organic carbon accumulation in major Chinese croplands. *Geoderma*. 366: 114234.





Anexo 1

Entrevistas realizadas

En el marco de este trabajo se realizaron un total de 34 entrevistas a referentes de empresas agrícolas y de bioinsumos, instituciones de I-D y organismos gubernamentales, de 11 países de la región.

A continuación, se incluye un listado de las organizaciones de cada país a las que pertenecen los informantes entrevistados.

Cuadro 12
Organizaciones entrevistadas

Organización	Tipo	País
Puna Bio	Empresa de bioinsumos	Argentina
Comité Asesor en Bioinsumos de Uso Agropecuario (CABUA)	Gobierno	Argentina
Coopercitrus	Cooperativa agrícola	Brasil
Agencia Nacional de Asistencia Técnica y Extensión Rural (ANATER)	Agencia de extensión	Brasil
Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA)	Centro de I+D	Brasil
Empresa Brasileña de Investigación e Innovación Industrial (EMBRAPII)	Centro de I+D	Brasil
Programa Nacional de Bioinsumos	Gobierno	Brasil
Estado de Goiás	Gobierno	Brasil
Koppert Brasil	Empresa de bioinsumos	Brasil
Vanda Bueno	Referente de bioinsumos	Brasil
SoluBio	Empresa de tecnología para la producción en finca de bioinsumos	Brasil
Hortifrut	Empresa agrícola	Chile
Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)	Centro de I+D	Chile
Subsecretaría de Agricultura	Gobierno	Chile
Agri Marine Terra	Empresa bioinsumos	Chile
Banco Agrario de Colombia	Banco de desarrollo agrícola	Colombia
AGROSAVIA	Centro de I+D	Colombia
Alteo	Empresa de bioinsumos	Colombia
Asociación de Productores Orgánicos de la Zona Norte de Cartago (APROZONOC)	Asociación de productores/as agrícolas	Costa Rica
Instituto Nacional de Aprendizaje (INA)	Centro de I+D	Costa Rica
Nicoverde	Comercializador agrícola	Costa Rica
Unidad de Registros de Agroquímicos y Unidad de Controladores Biológicos	Entidad regulatoria	Costa Rica

Dirección de Sanidad Vegetal	Gobierno	Cuba
Bioamigo - Red APRODARE	Asociación de productores agrícolas	El Salvador
Bayer	Empresa de insumos	Global
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural	Gobierno	México
Biokrone	Oferente (empresa bioinsumos)	México
Cooperativa Nueva Esperanza del Bocay	Cooperativa agrícola	Nicaragua
Agrobanco	Banco de desarrollo agrícola	Perú
Red de Acción en Agricultura Alternativa	Asociación de productores agrícolas	Perú
Camposol	Empresa agrícola	Perú

FUENTE: elaboración propia.

Anexo 2

Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe

En el marco de este trabajo, se diseñó y aplicó la **Encuesta de percepción sobre el desarrollo y uso de bioinsumos agrícolas en América Latina y el Caribe**, de la cual participaron 971 personas y organizaciones de 22 países.

La encuesta fue aplicada utilizando la plataforma Survey Monkey a una muestra intencional integrada por seis tipos de perfiles (ver Cuadro 13). Fue enviada por correo electrónico a una base de datos conformada a partir de una selección previa de adoptantes y oferentes de bioinsumos. En este último caso, se solicitó información a los organismos encargados de velar por la sanidad y calidad agroalimentaria en cada país, en tanto son los encargados del registro de los bioinsumos comercializados. Asimismo, los informantes entrevistados en el marco de esta investigación también replicaron la encuesta entre sus contactos.

Cuadro 13

Cantidad de respondientes de la encuesta por perfil de respondiente

Perfil de respondiente	Cantidad de respuestas totales (completas y parciales)
Productores/as agrícolas individuales	158
Cooperativas agrícolas o asociación de productores/as agrícolas	48
Empresas agrícolas	48
Asesores/as técnicos/as de productores agrícolas individuales	185
Empresas de insumos agrícolas (productoras y comercializadoras de bioinsumos)	260
Otras organizaciones que desarrollan y/o producen bioinsumos (centros de I+D, organizaciones gubernamentales, otras organizaciones sin fines de lucro)	272
Total	971

FUENTE: elaboración propia.

Anexo 3

Definiciones de bioinsumos y equivalentes

A continuación, se presenta un conjunto de definiciones del término “bioinsumo”, o sus equivalentes “insumo biológico” y “producto biológico”, usadas en el marco de este trabajo. Para cada definición se indica la fuente de información correspondiente, así como la región o país a la que corresponde (ver Cuadro 14).

Cuadro 14

Definiciones de bioinsumos en distintas partes del mundo

Término	Definición	País o Región	Fuente
Bioinsumo	Todo aquel insumo de origen biológico, que haya sido producido, derive o consista en microorganismos/macroorganismos, destinado a ser utilizado en actividades agropecuarias.	Mercosur	Comisión de Bioinsumos para uso Agropecuario del Mercosur (CBAG), 2023
Bioinsumos	Son insumos biológicos utilizados en la agricultura. Se refieren a biocontrol y a biofertilizantes. Incluyen un conjunto de técnicas biológicas para el control de plagas agrícolas (microorganismos, insectos, ácaros, nematodos, etc.). Los agentes de control biológico se dividen generalmente en cuatro categorías principales: macroorganismos benéficos de invertebrados, macroorganismos, mediadores químicos y sustancias naturales de plantas. Los biofertilizantes son productos de origen biológico utilizados para aumentar la fertilidad del suelo. Contienen materias orgánicas (estiércol, residuos vegetales, compost), o soluciones microbianas, como bioinoculantes. Estos últimos productos contienen principalmente fijadores de nitrógeno.	América del Sur	Goulet, 2021
Insumo biológico	Los bioinsumos de uso agropecuario son herramientas de base biológica, macro o microorganismos, derivados y extractos de plantas, aplicados para la producción agropecuaria. Estos comprenden tres familias de productos: productos de control biológico (biocontroladores y agentes fitosanitarios, ya sean de origen fúngico, viral, bacteriano, vegetal o animal, o derivados de estos), biofertilizantes, y bioestimulantes o fitoreguladores.	América Latina y el Caribe	Goulet y Krotsch, 2020
Bioinsumo	Se define como todo producto biológico que consista o haya sido producido por microorganismos o macroorganismos, extractos o compuestos bioactivos derivados de ellos y que estén destinados a ser aplicados como insumos en la producción agropecuaria, agroalimentaria, agroindustrial, agro energética e incluso en el saneamiento ambiental.	América Latina: Argentina	Gobierno de Argentina, 2022

Insumo biológico	Es un producto, proceso o tecnología de origen vegetal, animal o microbiano, usado en la producción, almacenamiento y procesamiento de productos agrícolas, en sistemas de producción acuáticos, o en bosques plantados, que tienen un efecto positivo en el crecimiento, desarrollo y mecanismo de respuesta de animales, plantas, microorganismos y sustancias derivadas que interactúan con productos y procesos fisicoquímicos y biológicos.	América Latina: Brasil	Gobierno de Brasil, 2021
Insumo biológico	Sustancias, agentes biológicos o mezcla de estos, de origen natural, que se aplican sobre plantas, semillas, suelo o sustrato para favorecer la productividad, calidad y salud de las plantas, suelos y/o sustratos. Pueden tratarse de microorganismos, macroorganismos, extractos biológicos o biomoléculas naturales y sus equivalentes.	América Latina: Chile	Red Chilena, 2017
Insumo biológico	Producto que se emplea con fines de manejo integrado de plagas o en la mejora de la productividad de los cultivos y el suelo, elaborado de forma masiva a partir de microorganismos vivos, virus, macroorganismos, productos de ocurrencia natural o productos bioquímicos.	América Latina: Colombia	ICA, 2020
Insumo biológico	Productos que se obtienen a partir del procesamiento de materia vegetal y del aislamiento y multiplicación de microorganismos. Se utilizan con fines de fertilización y nutrición de las plantas y suelos y con ellos se logra una mejora en la calidad de los suelos, se favorece la absorción de nutrientes en plantas y suelos, se controlan las enfermedades de las plantas, se regulan las poblaciones de plagas y se estimula la resistencia y productividad de las plantas.	América Latina: México	Gobierno de México, 2022
Insumo biológico	Productos destinados a promover la fertilidad del suelo, la actividad biológica y el crecimiento de las plantas. Incluyen inóculos microbianos, bioestimulantes que promueven poblaciones microbianas favorables y el crecimiento de plantas.	Australia	Farrel et al., 2016
Insumo biológico	Los insumos biológicos son productos constituidos por microorganismos, macroorganismos, extractos o compuestos vegetales de origen biológico o natural destinados a ser aplicados como insumos en la producción agrícola. Incluyen tres categorías de productos: productos de biocontrol, biofertilizantes y bioestimulantes.	Bélgica	Parc naturel des Plaines de l'Escaut, 2022
Insumo biológico	Los insumos biológicos incluyen una amplia gama de enmiendas orgánicas, desde cultivos de cobertura y estiércol hasta inoculantes fúngicos y bacterias promotoras del crecimiento.	Canadá	McIntosh, 2019
Insumo biológico	Es un organismo vivo o elemento de origen biológico, a diferencia de los elementos de origen químico sintético o mineral, que se introduce en una parcela agrícola o ganadera, con el fin de apoyar la optimización de la producción.	Francia	Aubert et al., 2018
Productos biológicos agrícolas (o productos biológicos)	Son herramientas beneficiosas para la producción y protección de cultivos que se crean en gran medida a partir de organismos vivos o se derivan de materiales naturales, estos contienen o utilizan procesos naturales. Los productos biológicos complementan las herramientas tradicionales de protección de cultivos como parte de un sistema integrado de manejo de cultivos, utilizando las propias defensas de la naturaleza para ayudar a proteger las plantas contra las plagas, mejorar el rendimiento y prevenir enfermedades.	Internacionales	Bayer, 2022

Productos biológicos	Productos utilizados en programas de control integrado de plagas o de forma independiente para proporcionar otra forma de proteger las plantas de enfermedades, plagas y malas hierbas, o para mejorar la salud de las plantas.	Internacionales	Syngenta Global, 2022
Productos biológicos	Son herramientas para la agricultura sostenible del futuro, porque no solo son seguros para los beneficiarios, sino que también pueden proteger los cultivos. Los productos biológicos son una clase de productos agrícolas que incluyen bioplaguicidas, biofertilizantes y bioestimulantes que se derivan de materiales naturales, como animales, plantas, bacterias o minerales.	Internacionales	Flueckiger, 2021
Productos biológicos agrícolas	Son microorganismos o bioquímicos derivados de microorganismos de extractos de plantas, de insectos o de otra materia orgánica. Se combina con productos fitosanitarios sintéticos como solución de gestión integrada. Los productos biológicos agrícolas tienen como objetivo proporcionar un enfoque holístico para que los productores maximicen el rendimiento de los cultivos, mejoren la calidad y minimicen la resistencia a las plagas.	Internacionales	Research and Markets, 2022

FUENTE: elaboración propia.

Con respecto a la definición de bioplaguicida, tal como se detalla en el Glosario de este documento, se propone emplear lo sugerido por Koma (2012), Rajashekar *et al.* (2010) y Yao *et al.* (2008), con la finalidad de adecuar las definiciones actuales de la FAO para plaguicida biológico:

- Término genérico, no definible específicamente, pero que se aplica en general a un agente de control biológico, normalmente un patógeno, formulado y aplicado de manera similar a un plaguicida químico y utilizado normalmente para la reducción rápida de la población de una plaga en un control de plagas a corto plazo.
- Agente de control biológico o agente macrobiano, tales como los parasitoides o depredadores, o sustancia biológica que se presenta en forma natural, producida o multiplicada masivamente, formulada y aplicada de forma similar a un plaguicida químico y que se utiliza normalmente para la disminución rápida de la población de una plaga en un control de plagas a corto plazo.

Anexo 4

Evidencia científica sobre el impacto del uso de bioinsumos

Cuadro 15

Efecto de biofertilizantes utilizados en diferentes países de Latinoamérica

País	Cultivo	Microorganismos	Reducción fertilizante químico	Aumento en el rendimiento	Autor
Argentina	Maíz	<i>Bradyrhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i> , <i>Azospirillum Pseudomonas</i> y micorrizas		11,5-34 %	Mendoza-Herrera et al., 2010; Anríquez et al., 2019
Argentina	Soya, maíz, alfalfa y arroz	<i>Bradyrhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i> , <i>Azospirillum</i> <i>Pseudomonas</i> y micorrizas		Desde valores negativos hasta 100 %, con respecto al tratamiento no inoculado	
Argentina	Soya	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> , <i>Bradyrhizobium diazoefficiens</i>		6,4 %	Legget et al., 2017
Brasil	Maíz	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>A. brasilense</i>		39,5 % y 34,7 %	Pereira et al., 2020
Brasil	Maíz	<i>Azospirillum brasilense</i>	25 %	4,6 %	Hungria et al., 2022
Brasil	Maíz	<i>Azospirillum brasilense</i>		50,0 %	<i>Oliviera et al., 2018</i>
Brasil	Soya	<i>Bradyrhizobium</i> , <i>Azospirillum</i>		8,4-15,1 %	Hungria & Nogueira, 2019
Colombia	Ají	<i>Azotobacter chroococcum</i> (AC1 Y AC10)	50 %	13 % y 19 %	Bonilla et al., 2000
Colombia	Algodón	<i>Azotobacter chroococcum</i> (AC1 Y AC10)	50 %	18 %	Romero- Perdomo et al., 2017
Colombia	Maíz	<i>Azospirillum spp</i>			Sangoquiza-Caiza, 2011.

País	Cultivo	Microorganismos	Reducción fertilizante químico	Aumento en el rendimiento	Autor
Colombia	Tomate	<i>Azotobacter chroococcum</i> (AC1 Y AC10)	50 %	13 % y 41 %	Bonilla et al., 2000
Ecuador	Maíz	<i>Azospirillum</i> spp. y <i>Pseudomonas fluorescens</i>	50 %	30 %	Zambrano Mendoza et al., 2019
México	Cereales, legumbres y cítricos	<i>Azospirillum brasilense</i> , <i>Rhizobium etli</i> y <i>Glomus Intraradices</i>		60 % maíz; 85 % trigo; 74 % cebada; 25 % avena; 36 % frijol y 111 % naranja	Zambrano Mendoza et al., 2021
México	Maíz	<i>Azospirillum</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Pseudomonas</i> y <i>Bacillus</i> , Hongos Micorrizas		28 %	Aguado-Santacruz, 2012
México	Tomate	<i>Bacillus</i> sp.		23,5 %	Mirik et al., 2008
Perú	Maíz	<i>Azospirillum</i> spp.	50 %	81 %	Cool, 2010
Perú	Maíz morado	Microorganismos eficientes		285 %	Girón Molina y Llalahuí Isasi, 2018
Venezuela (República Bolivariana de)	Maíz	<i>Azotobacter</i> sp. y <i>Bacillus megatherium</i>			Lopez et al., 2008

FUENTE: elaboración propia.

Cuadro 16

Efectos de diferentes microorganismos biocontroladores utilizados para el control de enfermedades en América Latina

País	Cultivo	Plaga	Microorganismo	Eficacia	Aumento en el rendimiento con respecto al tratamiento convencional (plaguicidas)	Reducción de costos de producción (CP) o índice beneficio costo (B/C)	Autor
Argentina	Maíz	<i>Exserohilum turcicum</i>	<i>Bacillus sp.</i>	43 %			Sartori et al., 2017
Argentina	Maní	<i>A. flavus/A. parasiticus</i> (micotoxinas)	<i>Aspergillus flavus</i> atoxigénica	71 %			Chulze et al., 2014
Argentina	Trigo	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Brevibacillus sp.</i>	42-76 %			Palazzini et al., 2016
Bolivia (Estado Plurinacional de)	Papa	<i>Helminthosporium solani</i>	<i>Trichoderma sp.</i>	10-22 %			Rojas et al., 2012
Brasil	Cítricos	<i>Diaphorina citri</i>	<i>Ageniaspis citricola</i>	56,2-60,6 % (parasitismo)			Paiva y Yamamoto, 2015
Brasil	Papa	<i>Alternaria solani</i> y <i>A. grandis</i>	<i>Chlonostachys rosea</i>	83-90 %			da Silva et al., 2021
Brasil	Soya	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Trichoderma asperellum</i> y <i>Trichoderma harzianum</i>	20,4 % y 37,4 %	4,7 % y 10,4 %		Meyer et al., 2016
Brasil	Soya	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Trichoderma</i> , <i>Bacillus</i> : mezcla de ambos	70 % reducción de la germinación carpogénica			de Faria et al., 2022
Brasil	Soya	Varias: insectos, nemátodos y fitopatógenos	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus thuringiensis</i> , <i>Trichoderma spp.</i> , <i>Metharrizium anisopliae</i> , <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Pochonia chlamydsporia</i>		Aumento en la productividad del 13 %	CP: 58,6 %, aumento en la rentabilidad: 175 %	Cruvinell et al., 2022
Chile	Tomate	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Trichoderma harzianum</i>	40-100 %			Montealegre et al., 2010
Chile	Tomate	<i>Tuta absoluta</i>	<i>B. bassiana</i> y <i>M. anisopliae</i>	80 % de mortalidad de huevos y 90 % de mortalidad de larvas			Rodríguez et al., 2006
Chile	Tomate	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	<i>Beauveria bassiana</i> endófito	Reducción del número de huevos y ninfas por cm ² de folíolo de 32 % y 55 %			Barra-Bucarelli et al., 2020
Colombia	Algodón	<i>Bemisia tabaci</i>	<i>Lecanicillium lecanii</i>		8 %	B/C: 3,5	Espinel et al., 2012
Colombia	Berenjena	<i>Bemisia tabaci</i>	<i>Lecanicillium lecanii</i>		61 %	B/C: 2,1	Espinel et al., 2012
Colombia	Caucho	<i>Erinnyis ello</i>	<i>Granulovirus</i> de <i>E. ello</i> (EeGV)	80 %			León et al., 2010

País	Cultivo	Plaga	Microorganismo	Eficacia	Aumento en el rendimiento con respecto al tratamiento convencional (plaguicidas)	Reducción de costos de producción (CP) o índice beneficio costo (B/C)	Autor
Colombia	Habichuela	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	<i>Lecanicillium lecanii</i>	78 %	65 %		Jiménez, 2006
Colombia	Maíz	<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Nucleopolyedrovirus de S. frugiperda (SfNPV)</i>	70 %			Gómez et al., 2013
Colombia	Mora	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Rhodotorula glutinis</i> y <i>Trichoderma koningiopsis</i>	59 % y 65 %	55 %		Zapata y Cotes, 2013
Colombia	Papa	<i>Tecia solanivora</i>	<i>Granulovirus de P. operculella (PhopGV)</i> ,	90 %			Villamizar et al., 2005
Colombia	Papa	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Trichoderma spp.</i>	*58-85%			Hoyos et al., 2012
Colombia	Papa	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Trichoderma koningiopsis</i> y <i>Trichoderma asperellum</i>	*86 % y 71 %			Beltrán-Acosta et al., 2010
Colombia	Rosa	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	87 %			Zapata et al., 2016
Colombia	Tomate	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	<i>Lecanicillium lecanii</i>	53 %			Garzón, et al., 2006
Colombia	Tomate	<i>Fusarium oxysporum</i> y <i>Lecanicillium lecanii</i>	<i>Trichoderma koningiopsis</i>	42-58 % y 60-70 %			Cotes et al., 2018
Colombia	Tomate, lechuga y arroz	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> y <i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Trichoderma koningiopsis</i>	29 -35 %			Moreno et al., 2020
Croacia	Uva	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Trichoderma</i>	13 % y 55 %			Topolovec-Pintarić, 1999
Ecuador	Banano	<i>Chaetanaphothrips signipennis</i>	<i>Saccharopolyspora spinosa</i>	100 %			Delgado et al., 2017; Arias et al., 2019
Ecuador	Mora	<i>Dactylonectria torresensis</i>	<i>Trichoderma sp.</i> y <i>T. asperellum</i> .	13 % y 29 % respecto al control	Entre 19,04 ton/ha y 24,97 ton/ha		Sanchez et al., 2019
Ecuador	Papa	<i>Premnontrypes vorax</i>	<i>B. bassiana</i>	8,7 %, frente al testigo sin aplicación con un daño de tubérculos del 23,7 %			Guapi, 2012
Indonesia	Arroz	<i>Drechslera oryzae</i>	<i>Trichoderma viride</i> , <i>T. harzianum</i> , <i>T. hamatum</i>	27-36 %			Mau et al., 2022
México	Mango	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	68,8 %			Galindo et al., 2015
México	Mango	<i>Anastrepha obliqua</i>	<i>Diachasmimorpha longicaudata</i>	30-50 % (parasitismo)			Cancino et al., 2019

País	Cultivo	Plaga	Microorganismo	Eficacia	Aumento en el rendimiento con respecto al tratamiento convencional (plaguicidas)	Reducción de costos de producción (CP) o índice beneficio costo (B/C)	Autor
Perú	Quinoa	<i>Peronospora variabilis</i>	<i>Trichoderma</i>	99%	3 127,3 kg/ha en comparación con el testigo (1 141,3 kg/ha)		León et al., 2010
Perú	Quinoa	<i>Peronospora variabilis</i>	<i>Trichoderma</i>		3 127,3 kg/ha, en comparación con el testigo (1 141,3 kg/ha)		León et al., 2018

FUENTE: elaboración propia.

Cuadro 17

Respaldo científico de los diferentes impactos del uso de bioinsumos

Título	Respaldo científico	Autor
Use of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria in Maize and Sugarcane: Characteristics and Applications	Incremento en rendimientos, crecimiento de la planta y biomasa	Dos Santos <i>et al.</i> 2020
Nitrogen Fertilization. A Review of the Risks Associated with the Inefficiency of Its Use and Policy Responses	Emisión de N ₂ O por fertilización	Martínez-Dalmau <i>et al.</i> 2021
Biofertilizer: Ingredients for Sustainable Agriculture	Impacto del uso de fertilizantes químicos.	Hanapi <i>et al.</i> 2012
Application of Mycorrhiza and Soil from a Permaculture System Improved Phosphorus Acquisition in Naranjilla	El uso de hongos micorrízicos arbusculares (AMF) puede actuar de forma beneficiosa, por ejemplo, mejorando la nutrición y el crecimiento de las plantas, las relaciones hídricas, la estructura y estabilidad del suelo y la protección contra el estrés biótico y abiótico	Symanczik <i>et al.</i> 2017
Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis	Metanálisis	Schütz <i>et al.</i> 2018
Biofertilizers as Strategies to Improve Photosynthetic Apparatus, Growth, and Drought Stress Tolerance in the Date Palm	Ayudan a adaptarse/ resiliencia	Anli <i>et al.</i> , 2020
Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their variability	Factores de emisión y comparación entre fertilizantes sintéticos y compostas	Walling <i>et al.</i> , 2020
Assessment of Greenhouse Gases Emission in Maize-Wheat Cropping System Under Varied N Fertilizer Application Using Cool Farm Tool	Este estudio confirma que la emisión directa de N ₂ O depende totalmente de la tasa de aplicación de fertilizantes nitrogenados	Kumar <i>et al.</i> , 2021b
Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizers could be reduced by up to one-fifth of current levels by 2050 with combined interventions	El aumento de la eficiencia en el uso de nitrógeno es la estrategia más eficaz para reducir las emisiones. Sin embargo, esto debería combinarse con la descarbonización de la producción de fertilizantes	Gao <i>et al.</i> , 2023
Biofertilizers: A Nexus between soil fertility and crop productivity under abiotic stress	Productividad y rendimientos de diferentes inoculantes (descripción de sus diferentes mecanismos de funcionamiento). Rate of reduction in the use of chemical fertilizer (%) by country and by type of crop	Mahmud <i>et al.</i> , 2021
Linking N ₂ O Emissions from Biofertilizer-Amended Soil of Tea Plantations to the Abundance and Structure of N ₂ O-Reducing Microbial Communities	Los hallazgos mostraron que los biofertilizantes pueden afectar el proceso de transformación del nitrógeno microbiano y reducir las emisiones de N ₂ O de los agroecosistemas	Xu <i>et al.</i> , 2018

Título	Respaldo científico	Autor
Inoculation with nitrous oxide (N ₂ O)-reducing denitrifier strains simultaneously mitigates N ₂ O emission from pasture soil and promotes growth of pasture plants.	La inoculación con la mayoría de estas cepas mitigó las emisiones de N ₂ O del suelo de los pastos	Gao <i>et al.</i> , 2016
Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emission	Reducir la dependencia de los fertilizantes mediante la ingeniería de plantas de cultivo para que fijen nitrógeno por sí mismas a fin de mantener el crecimiento y el rendimiento. El potencial para la mitigación de N ₂ O (con un aumento simultáneo del rendimiento de los cultivos) es alto	Thomson <i>et al.</i> , 2012
Role of biofertilizers and biopesticides in organic farming	Este capítulo sobre biofertilizantes y biopesticidas revisa su papel potencial en la agricultura orgánica, desafíos y estrategias para la promoción y comercialización de biofertilizantes y biopesticidas	Parewa <i>et al.</i> , 2021
Biostimulants as a Tool for Improving Environmental Sustainability of Greenhouse Vegetable Crops	La mejor combinación para evitar emisiones considerando rendimientos y emisiones fue la de combinar el bioestimulante con fertilizantes sintéticos	Rajabi <i>et al.</i> , 2020
Biostimolanti e sostenibilità ambientale delle colture	Los resultados muestran que el tratamiento bioestimulante más micronutrientes aumenta el rendimiento. La eficiencia en el uso de nitrógeno es mayor en plantas tratadas con bioestimulantes	Colantoni y Rajabihamedani, 2019
Impact of Integrated Use of Biofertilizers with Reduced Doses of Chemical Fertilizers in Flower Crops	Rendimiento: optimización del uso de biofertilizantes en combinación con fertilizantes orgánicos	Madinat-ul-Nisa <i>et al.</i> , 2016
Biostimulants for Plant Growth and Mitigation of Abiotic Stresses: A Metabolomics Perspective	Potencial para mejorar la productividad. Los efectos de los bioestimulantes en la producción de cultivos	Nephali <i>et al.</i> , 2020
Plant biostimulants in greenhouse horticulture: recent advances and challenges ahead	Impacto en crecimiento y rendimiento por uso de bioestimulantes	De Pascale <i>et al.</i> , 2021
Biostimulants and crop responses: a review	En hortalizas, la aplicación de bioestimulantes permitió una reducción de fertilizantes sin afectar el rendimiento y la calidad	Bulgari <i>et al.</i> , 2015
Agricultural uses of plant biostimulants	Análisis que revela algunos puntos en común en las respuestas de las plantas a diferentes bioestimulantes, como un mayor crecimiento de las raíces, una mayor absorción de nutrientes y tolerancia al estrés	Calvo <i>et al.</i> , 2014
Changes in CO ₂ Emissions Induced by Agricultural Inputs in China over 1991–2014	El aumento de las emisiones de CO ₂ causado por los insumos agroquímicos y energéticos podría reflejar el riesgo ambiental potencial de la intensificación agrícola en China	Wang, X., 2016

Título	Respaldo científico	Autor
Greenhouse gas emissions from global production and use of nitrogen synthetic fertilizers in agriculture	Reducir la producción general y el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos ofrece un gran potencial de mitigación y, en muchos casos, un potencial realizable para reducir las emisiones	Menegat et al., 2022
Environmental Consequences of Invasive Species: Greenhouse Gas Emissions of Insecticide Use and the Role of Biological Control in Reducing Emissions	Esto permite una estimación del papel del control biológico en la atenuación de las emisiones de gases de efecto invernadero de una plaga invasora	Heimpel et al., 2013
Bioestimulants: a tool for improving quality and yield	Los bioestimulantes pueden ayudar a reducir la aplicación de fertilizantes y la contaminación ambiental, permitiendo la producción de vegetales de alta calidad	Vernieri et al., 2006
Bioestimulants and Their Role in Improving Plant Growth under Abiotic Stresses	Los bioestimulantes aplicados a las plantas mejoran la eficiencia nutricional, la tolerancia al estrés abiótico y/o los rasgos de calidad de la planta, independientemente de su contenido de nutrientes	Feitosa y Garófalo, 2019
Assessing life cycle environmental impacts of inoculating soybeans in Argentina with <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	Aumento de rendimiento y reducción de impacto por cambio de uso de suelo	Mendoza et al., 2021
Assessing life cycle impacts from changes in agricultural practices of crop production	Aumento de rendimiento y reducción de emisiones al agua y al aire con el uso de inoculante	Kløverpris et al., 2020
Environmental Consequences of Invasive Species: Greenhouse Gas Emissions of Insecticide Use and the Role of Biological Control in Reducing Emissions	Las emisiones de GEI asociadas con las aplicaciones de pesticidas contra las especies invasoras constituyen un costo ambiental	Heimpel et al., 2013
A Global Network Meta-Analysis of the Promotion of Crop Growth, Yield, and Quality by Bioeffectors	Evaluación de los efectos de los bioestimulantes en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, la respuesta de la biomasa de la raíz, los indicadores de calidad de los cultivos, los efectos en el contenido de nutrientes de los cultivos y la eficiencia en el uso de nutrientes	Hermann et al., 2022
<i>Ascophyllum nodosum</i> extract bioestimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants	Los bioestimulantes pueden mejorar la productividad de los cultivos en condiciones de estrés abiótico. Los productores han observado la capacidad de algunos como los extractos de <i>Ascophyllum nodosum</i> (ANE) para mejorar la tolerancia de los cultivos al estrés por sequía	Goñi et al., 2018
Chapter Two - How the Plant Growth-Promoting Bacterium <i>Azospirillum</i> Promotes Plant Growth—A Critical Assessment	<i>Azospirillum</i> spp., la bacteria promotora del crecimiento vegetal más estudiada, mejora el crecimiento vegetal	Bashan et al., 2010

Título	Respaldo científico	Autor
The PGPR <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> SBP-9 augments resistance against biotic and abiotic stress in soybean	Este estudio muestra cómo los bioestimulantes pueden mejorar la capacidad de las plantas para enfrentar situaciones adversas como sequías y enfermedades	Singh <i>et al.</i> , 2016
Biopesticides in Sustainable Agriculture: A Critical Sustainable Development Driver Governed by Green Chemistry Principles	Este estudio demuestra cómo el uso de bioplaguicidas puede reducir la dependencia de pesticidas químicos mejorar la productividad	Fenibo <i>et al.</i> , 2021
Effects of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on maize growth and nitrogen uptake under different fertilization conditions	Este estudio muestra cómo los biofertilizantes pueden aumentar la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo y mejorar la salud del suelo	Liang <i>et al.</i> , 2009
Potential of biofertilizers from selected <i>Rhodopseudomonas palustris</i> strains to assist rice (<i>Oryza sativa</i> L. subsp. indica) growth under salt stress and to reduce greenhouse gas emissions	Se prueba el uso de un biofertilizante en el cultivo de arroz bajo determinadas condiciones y se demuestra una disminución en emisiones de GEI	Kantha <i>et al.</i> , 2015
Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture	Esta revisión se centra en los biofertilizantes y sus mecanismos de acción, el papel en la productividad de los cultivos y en la tolerancia al estrés biótico y abiótico	Chaudhary <i>et al.</i> , 2022
Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability	Esta revisión examina críticamente el estado del arte actual sobre el uso de cepas microbianas como biofertilizantes y las importantes funciones que desempeñan estos microbios beneficiosos para mantener la fertilidad del suelo y mejorar la productividad de los cultivos	Kumar <i>et al.</i> , 2022
Recent Developments in the Study of Plant Microbiomes	Los consorcios bacterianos beneficiosos no solo ayudan a promover el crecimiento de las plantas, estos consorcios también protegen a las plantas de una amplia gama de estreses ambientales directos e indirectos	Glick <i>et al.</i> , 2021
Sustainable and circular bioeconomy in the biodiversity Agenda. Opportunities to conserve and restore biodiversity in agrifood systems through bioeconomy practices	Líneas de acción donde se apoya el tema de bioinsumos	FAQ, 2022

FUENTE: elaboración propia.

Resultados de metaanálisis

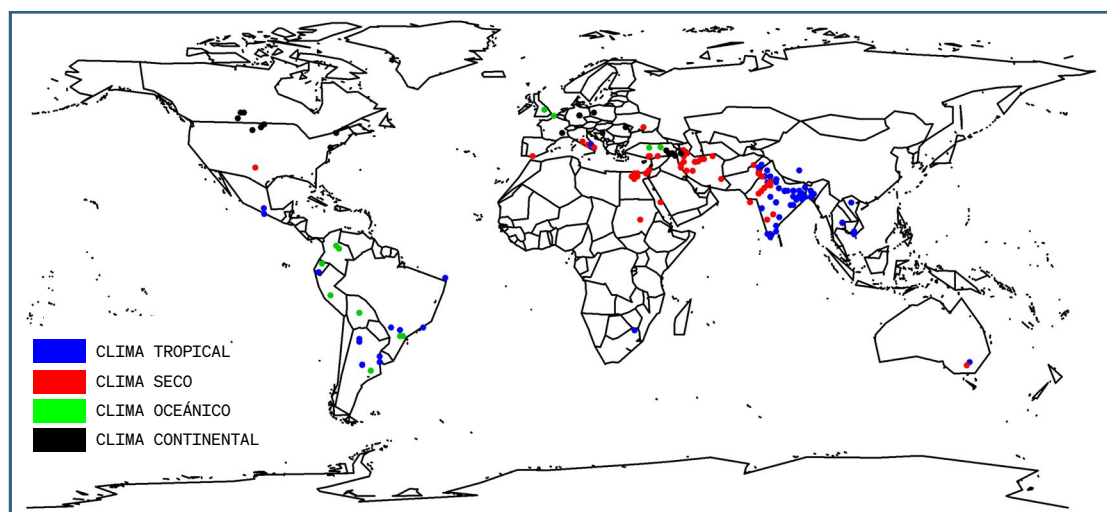


Figura 12

Mapa que muestra el origen del estudio y su clasificación en función del clima, se excluyen los estudios de tomate en invernadero

FUENTE: Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P. y Mathimaran, N. 2018. Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 8.

Cuadro 18

Base de datos relacionada con diferentes categorías de cultivos, zonas climáticas e insumos de nutrientes

	Cereales	Cultivos de raíces	Legumbres	Hortalizas	Otros cultivos
Número de estudios*	86	8	38	17	28
Número de comparaciones por pares**	681	137	521	142	184
Cobertura de zonas climáticas (después de Köeppen)	Aw, BSh, BSk, BWb, Cwa, Cfa, Csa, Cfb, Cwb, Dsb, Dsa, Dfb, Dwb	Aw, Cfb, Cwa, Csa, Dfb	Aw, BSk, BSh, BWb, Cwa, Cwc, Csa, Cwb, Dwa, Dsb, Dsa,	Aw, BWb, Csa, Cwa, Cfa, Cwb, Dfb,	Am, Aw, BSk, BWb, BSh, Cwa, Cwb, Csa, Dsb,
Cobertura de los continentes	5	3	4	4	3
N promedio aplicado (kg ha ⁻¹) (media/mediana ± DE)	100.7/80.0 ± 84.6	127.2/102.5 ± 75.4	44.2/22.5 ± 56.6	159.2/200.0 ± 63.0	158.2/110.0 ± 214.7
P promedio aplicado (kg ha ⁻¹) (media/mediana ± DE)	50.3/40.0 ± 37.2	56.3/52.4 ± 35.6	33.0/25.0 ± 24.8	53.1/53.7 ± 19.1	56.4/40.0 ± 56.2
Porcentaje no fertilizado de comparaciones de pares	27.90	0	19.77	9.86	8.15

Los promedios para las aplicaciones de fertilizantes sólo se calcularon si se aplicó fertilizante;

*Algunos estudios aparecen en más de una categoría de cultivos, lo que da lugar a una suma de estudios superior (177) que los reportados (171).

**Las comparaciones de leguminosas con rizobia como control (61 comparaciones de 12 estudios) no se incluyen en la categoría de leguminosas, lo que da como resultado una suma de comparación inferior (1665) que el reportado (1726).

FUENTE: Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P. y Mathimaran, N. 2018. Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 8.

Cuadro 19

Base de datos en relación con las zonas climáticas y los aportes de nutrientes

	Clima tropical	Clima seco	Clima continental	Clima oceánico
N° de estudios^a	70	71	17	8
N° de comparaciones de pares	686	718	152	110
Cobertura de los continentes	5	5	3	3
N promedio aplicado (kg ha⁻¹) (media/mediana ± DE)	90.8/60 ± 88.2	120.5/90 ± 132.1	78.2/80 ± 58.3	65.3/47.5 ± 45.4
P promedio aplicado (kg ha⁻¹) (media/mediana ± DE)	47.3/38 ± 35.1	48.6/35.7 ± 40.7	37.8/34.9 ± 29.4	55.0/70.0 ± 30.2
OM % medio (media/mediana ± DE)	1.69/0.88 ± 1.59	1.02/0.95 ± 0.79	2.37/1.8 ± 1.85	4.82/4.18 ± 2.85
pH medio (media/mediana ± DE)	6.66/6.80 ± 1.20	7.81/7.80 ± 0.34	7.16/7.15 ± 0.61	5.55/5.50 ± 0.98

Los promedios para la aplicación de fertilizantes sólo se calcularon si se aplicaban fertilizantes.

^aCinco de los estudios analizados fueron excluidos por no poder atribuirse inequívocamente a una zona climática.

FUENTE: Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P. y Mathimaran, N. 2018. Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 8.

Cuadro 20

Especies de bacterias, habilidades, condiciones del experimento y resultados promovidos por la aplicación de muchas rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de maíz

Rhizobacteria/ Consortio (maíz)	Capacidades	Condición	Resultados	Referencias
<i>Lysinibacillus sphaericus</i> (T19)	FBN y producción de AIA	Sobre el campo	Aumento de la productividad	Breedt et al., 2017
<i>A. brasilense</i> Az39, <i>Bradyrhizobium japonicum</i> E109 (experimentos individuales y consorcios)	Producción de fitohormonas	Cámara de crecimiento	Aumento de la promoción de la germinación de las semillas y del desarrollo temprano de las plántulas (uso de especies aisladas o combinadas)	Cassán et al., 2009
<i>B. pumilus</i> S1r1	FBN	Invernadero	Mayor productividad de mazorca de maíz (hasta 30,9%)	Kuan et al., 2016
<i>A. brasilense</i> y <i>P. fluorescens</i>	Producción de AIA y solubilización de fósforo	Sobre el campo	Mayor rendimiento de grano	Di Salvo et al., 2018
<i>P. fluorescens</i> F113	Adquisición de nutrientes	Invernadero	Adición de N, K, Ca, Mg y Mn igual a 40, 49, 60, 100 y 141%, respectivamente, en los brotes	Rocha et al., 2019
<i>Enterobacter cloacae</i>	Producción de deaminasa ACC	Invernadero	Incrementos del 60, 73, 43, 69, 76 y 42%, respectivamente, en la producción de granos, tasa fotosintética, conductancia estomatal, clorofila A, clorofila total y carotenoides	Danish et al., 2020
<i>B. subtilis</i> y <i>A. brasilense</i>	Solubilización de fosfatos	Sobre el campo	Mayor rendimiento de grano	Pereira et al., 2020
<i>Chryseobacterium</i> sp. NGB-29 and <i>Flavobacterium</i> sp. O NGB-31	FBN y producción de grandes cantidades de AIA	Invernadero	Aumento de los parámetros de crecimiento	Youseif, 2018
<i>Ralstonia eutropha</i> 1C2 y <i>Chryseobacterium humi</i> ECP37	Biodisponibilidad del Zn en el suelo	Invernadero	Aumento de la biomasa y de la acumulación y disponibilidad de Zn en las plantas	Moreira et al., 2019
<i>Pseudomonas aurantiaca</i> SR1	Producción de fitohormonas, antibióticos y sideróforos	Sobre el campo	Aumento de la productividad, la longitud y el peso seco de los brotes y raíces	Rosas et al., 2009
<i>B. subtilis</i> 320	Solubilización de fosfatos y producción de fitohormonas	Sobre el campo	Aumento de la productividad y P en los brotes	Lobo et al., 2019
<i>Burkholderia cepacia</i>	Biocontrol y solubilización de fosfatos	Invernadero	Aumento del área de la hoja, la longitud y el peso seco de brotes y raíz	Zhao et al., 2014
<i>Pseudomonas tolaasii</i> IEXb	Solubilización de fosfatos	Sobre el campo	Aumento de la aparición de plántulas, la longitud de los brotes, el rendimiento de los granos, el peso de 1.000 granos, la biomasa seca total y el contenido de P en las plantas	Viruel et al., 2014
<i>Pseudomonas kilonensis</i> F113 y <i>Pseudomonas protegens</i> CHA0	Solubilización de fosfatos y biocontrol	Sobre el campo	Aumento del rendimiento foliar, altura y longitud	Alori et al., 2019
<i>Enterobacter cloacae</i> PGLO9	Solubilización de fosfatos	Invernadero	Mayor longitud de la raíz, longitud de los brotes, y aumento de la biomasa de brotes y raíces	Verma et al., 2018

FUENTE: Dos Santos, R. M., Díaz, P. A. E., Lobo, L. L. B. y Rigobelo, E. C. 2020. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: Characteristics and applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4.

Cuadro 21

Especies de bacterias, habilidades, condiciones del experimento y resultados promovidos por la aplicación de muchas rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en caña de azúcar

Rhizobacteria/Consortio (caña de azúcar)	Capacidades	Condición	Resultados	Referencias
A. brasilense + B. subtilis	Solubilización de fosfatos	Sobre el campo	Aumento del rendimiento, la materia seca y la acumulación total de P; y reducción de la fertilización en un 75%	Rosa et al., 2020
B. pumilus	Producción de AIA y enzimas (endoglucanasas y xilanasas)	maceta	Aumento de la materia seca y número y diámetro de los cultivadores	Santos et al., 2018
B. subtilis (BSSC11) y Bacillus megaterium (BMSE7)	Solubilización de fosfatos y la producción de sideróforos, AIA, amoníaco y HCN	Sobre el campo	Aumento en la longitud de la raíz, la longitud de los brotes y en la materia seca total	Chandra et al., 2018
P. koreensis y P. entomophila	FBN, producción de fitohormonas, y capacidad de biocontrol	Cámara de crecimiento	Mejora en el crecimiento y desarrollo de las plantas	Li et al., 2017
Escherichia sp. (VRE34)	Antagonismo a fitopatógenos, producción de AIA, solubilización de P y FBN	Invernadero	Aumento de la altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas	Patel et al., 2019
Burkholderia gladioli TNCSE 021	P solubilización	maceta	Aumento de la clorofila foliar, contenido de N y biomasa total	Muthukumarasamy et al., 2017
Bacillus altitudinis y Bacillus velezensis	Control biológico	Invernadero	Aumento del peso seco, área de superficie, y longitud total de la raíz	Liu et al., 2018
Bacillus xiamenensis PM14	Producción de sideróforos, AIA, amilasa, pectinasa, celulasa, quitinasa, proteasa y ACC deaminasa y solubilización de fosfatos	Invernadero	Aumento de altura, peso fresco, longitud, y diámetro de la raíz y longitud de la raíz	Xia et al., 2020
Azotobacter sp. (AZS3), P. fluorescens (Ps5), y Bacillus sp. (Bc1)	Producción de AIA, sideróforos y cianuro de hidrógeno; solubilización de fosfatos en lugar de fosfato solubilización	maceta	Aumento del peso seco de las raíces y brotes y de la altura de los brotes	Ahmad et al., 2016
P. fluorescens	Actividad antifúngica e inducción de resistencia sistémica	Sobre el campo	Mejora de la germinación vegetativa y productividad	Viswanathan and Samiyappan, 2002
A. brasilense	Actividad nitrogenasa	Sobre el campo	Aumento de longitud, diámetro y Valor Brix	Lopes et al., 2012
B. subtilis NH-160	Producción de AIA, solubilización de fosfatos, y actividad antifúngica	Invernadero	Inhibición de la infección por podredumbre roja	Hassan et al., 2010
Azospirillum spp.	Tolerancia al estrés hídrico	maceta	Aumento de la materia seca radicular	Moutia et al., 2010

FUENTE: Dos Santos, R. M., Díaz, P. A. E., Lobo, L. L. B. y Rigobelo, E. C. 2020. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: Characteristics and applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4.

Cuadro 22

Resumen de los efectos informados de las sustancias húmicas/ bioestimulantes sobre el crecimiento de las plantas, la absorción de nutrientes y la fisiología de las plantas.

Cultivo	Tipo de sustancia húmica	Referencia	Condiciones de estudio	Efectos informados sobre el crecimiento y la absorción de nutrientes	Efectos sobre la fisiología vegetal
Pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	Ácido húmico	Aguirre <i>et al.</i> 2009	Cámara de crecimiento	Ningún efecto sobre el crecimiento radicular	Aumento de la transcripción de genes que codifican para la Fe(III)-quelato-reductasa (CsFR01) y para un transportador de Fe(II) de la raíz (CsIRT1); aumento de la actividad H ⁺ -ATPasa
Pepino	Ácido húmico	El-Nemr <i>et al.</i> 2012	Ensayos de campo en dos años con pulverizaciones foliares	Aumento del crecimiento y el rendimiento de las plantas; aumento de la absorción de N, P, K, Ca, y Mg	
Pepino	Ácido húmico	Karakurt <i>et al.</i> 2009	Estudio de rendimiento y calidad de la fruta en tierra bajo condiciones de producción orgánica, en invernadero, realizado en dos años	Aumento del rendimiento total de frutos, de los azúcares solubles totales y los azúcares reductores y clorofila b	
Pepino	Ácido húmico	Mora <i>et al.</i> 2010	Cultivo hidropónico en cámara de crecimiento	Aumento del crecimiento de los brotes; aumento del NO ₃ en los brotes y disminución del NO ₃ en las raíces	Aumento de la actividad H ⁺ -ATPasa y cambios significativos en la distribución raíz-brote de NO ₃ , citoquininas y poliaminas .
Pepino	Ácido fúlvico	Rauthan and Schnitzer 1981	Cultivo hidropónico de cámara de crecimiento	Aumento del peso seco de los brotes y raíces, número de flores por planta, y absorción de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe y Zn	
Múltiples, incluidas las verduras, tomate, cereales, ornamentales y uvas (<i>Vitis vinifera</i>)	Sustancia húmica	Morard <i>et al.</i> 2011	Cultivo hidropónico y ensayo de campo (uvas)	Con algunas de las plantas probadas, aumentó el peso fresco de la planta, el número de flores y la eficiencia del uso del agua. En las uvas, incrementó el contenido de N del mosto	
Uvas (<i>Vitis vinifera</i>)	Sustancia húmica	Sánchez-Sánchez <i>et al.</i> 2006	Ensayos de campo a lo largo de dos años sobre la combinación de quelatos de Fe con sustancias húmicas	Aumento de la absorción de P y Fe; disminución de la absorción de Na	
Tomate Micro-Tom (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Sustancia húmica	Canellas <i>et al.</i> 2011	Papel de germinación en cámara de crecimiento	Incremento en el número de raíces laterales	Actividad similar a la auxina detectada mediante la activación del indicador sintético de auxina DR5: GUS
<i>Arabidopsis thaliana</i> , tomate, maiz (<i>Zea mays</i>)	Sustancia húmica	Dobbss <i>et al.</i> 2010	Cámara de crecimiento	Aumento de la emergencia radicular lateral	Incremento de la actividad H ⁺ -ATPase en raíces, y activación del reportero sintético de auxina DR5: GUS

Arabidopsis thaliana, micro-Tom tomate	Ácido fúlvico	Dobbss et al. 2007	Para Arabidopsis, sistema mini-hidropónico en cámara de crecimiento.	Aumento del crecimiento radicular lateral en Arabidopsis y tomate micro- Tom de tipo silvestre.	Ausencia de promoción de la emergencia radicular lateral con el mutante dgt tomate insensible a AIA
Tomate	Ácidos húmicos	Adani et al. 1998	Cultivo hidropónico	Aumento del crecimiento de raíces y brotes; aumento de la absorción de N, P, Fe y Cu	
Tomate	Ácidos húmicos	Yildirim 2007	Ensayo de rendimiento en invernadero en el suelo realizado durante dos temporadas de cultivo	Aumento del rendimiento temprano y total en ambos años; aumento del contenido total de sólidos solubles y ácido ascórbico en la fruta	
Tomate	Ácido fúlvico y ácido húmico	Lulakis and Petsas 1995	Ensayos de cámara de crecimiento con plántulas en placas de Petri	Crecimiento mejorado de raíces y brotes a los 14 días después de la siembra	
Soja (Glycine max), melón (Cucumis melo) y ryegrass (Lolium perenne)	Ácido fúlvico y ácido húmico	Chen et al. 2004	Cultivo hidropónico en cámaras de crecimiento con diferentes niveles de Fe y Zn	Aumento de las lecturas SPAD (medición de clorofila) en los tres sistemas de plantas con ácido fúlvico y ácido húmico	
Albahaca (Ocimum basilicum)	Ácido húmico con y sin PGPR	Befrozfar et al. 2013	Ensayos de campo con tratamientos de semillas y pulverizaciones foliares	Mayor rendimiento de aceite con ácido húmico solo y en combinación con PGPR	
Okra (Abelmoschus esculentus)	Ácidos húmicos	Kirn et al. 2010	Ensayo en tierra dentro de la carcasa del alambre	Aumento del rendimiento (frutos por planta) a la fertilización recomendada, pero no al 50 % del nivel de fertilización	
Patatas (Solanum tuberosum)	Ácidos húmicos	Selim et al. 2012	Estudio de campo con diferentes regímenes de agua; aplicación mediante sistema de fertirrigación	Rendimiento mejorado de tubérculos; aumento del porcentaje de proteína y contenido de ácido ascórbico en tubérculos; aumento de las lecturas SPAD (indicador de clorofila) en hojas	
Trigo (Triticum aestivum)	Ácidos húmicos	Tahir et al. 2011	Ensayo en macetas con suelos de campo calcáreos y no calcáreos con tres niveles de N, P y K	Aumento de la altura de la planta y el peso seco de raíces y brotes; aumento de la absorción de N	
Trigo	Ácido fúlvico	Dunstone et al. 1988	Ensayos de invernadero, cámara de crecimiento y de campo con aerosoles foliares de ácido fúlvico	Aumento del crecimiento de las plantas en algunos estudios pero no en otros. Ningún aumento en el rendimiento o el uso de agua en las pruebas de campo	Disminución de la conductividad estomatal en muchos estudios pero sin relación con la respuesta del crecimiento vegetal

Trigo	Ácido fúlvico	Xudan 1986	Experimentos en maceta y campo con pulverizaciones foliares de ácido fúlvico	Aumento del contenido de clorofila; aumento de la absorción de ^{32}P en las raíces; alivio parcial de la disminución del rendimiento de los cereales debida a una sequía moderada	Disminución de la conductividad estomatal
Trifgo	Ácido fúlvico	Peng et al. 2001	Hidroponía con niveles variables de Se como selenito de sodio	Aumento del crecimiento de la raíz de las plántulas con bajos niveles de Se; reducción de los síntomas de toxicidad de Se con altos niveles de Se	Reducción de la permeabilidad de la membrana celular inducida por Se y del contenido de freeprolina con ácido fúlvico
Trigo	Ácido fúlvico	Gu et al. 2001	Hidroponía con 8 concentraciones de 3 elementos raros de la tierra (La^{3+} , GD^{3+} , y Y^{3+})	Aumento de la bioacumulación de La^{3+} , GD^{3+} , y Y^{3+} en raíces y brotes, lo que reduce la acumulación en el suelo	Activación de la enzima glutámico oxaloacético transaminasa (GOT)
Maíz (Zea mays)	Ácidos húmicos	Jindo et al. 2012	Ensayos de laboratorio en medio líquido mínimo	Promoción del crecimiento radicular; aumento del número de sitios mitóticos en las raíces	Aumento del número de sitios mitóticos y actividad de bomba de protones en las raíces
Maíz	Sustancias húmicas	Schiavon et al. 2010	Ensayo de cámara de crecimiento en hidroponía	No evaluados	Mejora de la vía de los fenilpropanoides, disminución de fenilalanina y tirosina, aumento de compuestos fenólicos y algunos aminoácidos
Maíz	Ácidos húmicos	Canellas et al. 2002	Ensayos de laboratorio en medio líquido mínimo	Aumento del alargamiento de la raíz, proliferación de raíces secundarias y área de la superficie de la raíz	Actividad simulada de H^+ -ATPasa de la membrana plasmática y sitios mitóticos de desarrollo radicular lateral
Maíz	Ácido fúlvico	Anjum et al. 2011b	Ensayos de maceta en casa neta bajo sequía y sin condiciones de sequía	Aumento del área foliar, peso seco de la planta, contenido de clorofila y rendimiento bajo estrés por sequía	Aumento de la tasa de asimilación de CO_2 y del contenido de prolina
Maíz	Ácidos fúlvicos y húmicos	Eyheraguibel et al. 2008	Aplicación a plántulas de 10 días de edad con crecimiento en cultivo hidropónico hasta la fase de llenado de mazorca	Aumento de la longitud de la raíz de las plántulas; aumento de la biomasa total de la planta a los 2 meses; mejora del desarrollo de la planta como se observó con un aumento del número de hojas y flores por planta; aumento del desarrollo de la raíz lateral; aumento de la absorción de nutrientes	
Maíz	Ácidos húmicos	Canellas et al. 2009	Ensayos de laboratorio en medio líquido mínimo	Crecimiento y longitud de la raíz estimulados	Activación de la bomba de protones en vesículas de la membrana plasmática de la raíz

Maíz	Ácidos húmicos	Asli and Neumann 2010	Estudio de cámara de crecimiento en cultivo hidropónico y en suelos con múltiples aplicaciones	Inhibición del brote pero no del crecimiento de la raíz con altas concentraciones de ácido húmico; disminución de la transpiración	La conductividad hidráulica reducida redujo el transporte de agua desde el medio de la raíz hasta el brote
Maíz	Ácido fúlvico y ácido húmico	Harper et al. 1995	Crecimiento de plántulas durante cuatro días en solución nutritiva con y sin aluminio	Aumento del alargamiento radicular en ausencia de Al; en presencia de Al, reducción de la toxicidad de Al del alargamiento radicular	
Pera (<i>Pyrus communis</i>)	Ácido húmico	Marino et al. 2010	Condiciones de micropropagación in vitro de cultivos de brotes	Mejor aclimatación y micropropagación; aumento de enraizamiento, altura de la planta, contenido de clorofila y absorción de nutrientes	Reducción de la actividad de la catalasa y el malondialdehído
Pimienta (<i>Capsicum annuum</i>)	Ácido húmico	Cimrin et al. 2010	Cámara de crecimiento en la mezcla de suelo	Aumento de los pesos de brotes y raíces, también aumento de N, P, K, Ca, Mg, S, Mn y Cu bajo condiciones moderadas de estrés salino	Se sugirió que los aglomerados supramoleculares de ácido húmico limitan el transporte de agua radicular, lo que limita el crecimiento de los brotes
Pimienta	Ácido húmico	Karakurt et al. 2009	Ensayo de rendimiento en invernadero en el subsuelo realizado durante dos temporadas de cultivo	Aumento del rendimiento total, rendimiento temprano, peso medio del fruto, azúcares solubles totales y clorofila b	
Pimienta	Ácido fúlvico	Aminifard et al. 2012	Ensayo de campo con sumideros de ácido fúlvico durante el crecimiento vegetativo	No registrado	Aumento del contenido de hidratos de carbono, fenoles totales, capsaicina y carotenoides en la fruta; aumento de la actividad antioxidante en la fruta
Lantana camara	Ácido húmico y ácido fúlvico	Costa et al. 2008	Ensayo en invernadero con mezcla sin suelo para la propagación	Aumento en la biomasa de raíces y brotes, floración más temprana de esquejes enraizados	Regulación positiva del gen similar a AGAMOUS (AGL)
Limonos (<i>Citrus limon</i>) en C. enraizamiento de macrophila	Ácido fúlvico	Sánchez-Sánchez et al. 2002	Ensayo de campo en huertos con suelo calcáreo	Aumento de la captación foliar de Fe y Cu; aumento del rendimiento (peso del fruto), diámetro ecuatorial del fruto, pH del jugo y vitamina C	
Aceitunas silvestres (<i>Olea europaea</i>)	Ácido fúlvico	Murillo et al. 2005	Ensayos de campo en suelos contaminados por oligoelementos en condiciones semiáridas	Aumento del contenido de N y clorofila en plantas sin aumentos a niveles fitotóxicos de Cd, Cu, Pb, Tl o Zn	

Abeto griego (Abies cephalonica)	Ácido fúlvico	Zancani et al. 2011	Estudio con líneas celulares embrionarias para evaluar los efectos hormonales del ácido fúlvico en los estadios de la embriogénesis somática	Aumento de la tasa de proliferación y del porcentaje de masas proembrionarias	Ácido fúlvico interactuó con la vía de señalización hormonal vegetal; aumento de ATP celular y glucosa-6-fosfato
Haya (Fagus sylvatica)	Ácido fúlvico	Asp and Berggren 1990	Ensayos en cámara de crecimiento y en invernadero con plántulas	El ácido fúlvico complejado con Al no fue absorbido por las raíces; absorción radicular reducida de Al y ³² P-fosfato	
Girasol (Helianthus annuus)	Ácido fúlvico	Bocanegra et al. 2006	Ensayo de cámara de crecimiento con plántulas en solución de Hoagland con Fe suministrado en bolsa de diálisis	Aumento de la liberación y movilización de Fe a partir de quelatos de hierro; aumento de la captación vegetal del Fe liberado; conclusión de que el ácido fúlvico queló Fe ³⁺ para la captación vegetal	
Arroz (Oryza sativa)	Ácido fúlvico	Pandeya et al. 1998	Ensayo en cámara de crecimiento con plántulas en suelo calcáreo con ácido Fe-fúlvico, FeCl ₃ y trazador ⁵⁹ Fe	La captación de Fe fue mayor con la aplicación de ácido Fe-fúlvico que FeCl ₃	Se sugirió que el ácido fúlvico podría superar la etapa limitante del transporte de Fe de la solución del suelo a las raíces de las plantas por difusión
Arroz	Ácido húmico	García et al. 2012	Ensayo de cámara de crecimiento en solución de nutrientes y estrés hídrico por evaporación	Aumento del crecimiento de las plantas y de la biomasa en condiciones de escasez de agua; reducción del estrés oxidativo de las plantas bajo estrés hídrico	Peroxidasas inducidas que reducen el contenido de H ₂ O ₂ y mantienen la permeabilidad de la membrana; aumento del contenido de prolina en las plantas
Arroz	Ácido húmico	García et al. 2013	Ensayo de cámara de crecimiento en solución de nutrientes y estrés hídrico inducido por polietilenglicol	Bajo estrés hídrico, el ácido húmico mantuvo la actividad de la peroxidasa por debajo de los niveles en plantas sin ácido húmico; la peroxidación lipídica fue menor en plantas con estrés hídrico con HA que en plantas con estrés sin HA; los niveles de ácido abscísico (ABA) fueron similares en plantas con estrés con y sin HA.	Se sugirió que la protección contra el estrés hídrico era resultado de mecanismos dependientes de ABAi que implicaban la regulación de los genes de acuaporina tonoplast (OsTIPs)
Judías comunes (Phaseolus vulgaris)	Ácido fúlvico	Poapst and Schnitzer 1971	Ensayo con secciones de hipocotilo de plántulas de judías	Aumento del número de raíces adventicias con ácido fúlvico con y sin AIA	

Judías comunes	Ácido húmico	Aydin et al. 2012	Ensayo en invernadero para evaluar el ácido húmico para la mitigación del estrés por salinidad	Reducción de la mortalidad de las plantas con tratamientos con ácido húmico a altas dosis de NaCl, CaCl ₂ , MgCl ₂ , y KCl ₂ ; aumento del peso seco de las raíces y los brotes; aumento del contenido de nitratos	Bajo estrés de salinidad, el ácido húmico aumentó la prolina y la fuga de electrolitos de las plantas
Judías (Vicia faba)	Ácido fúlvico	Shahid et al. 2012	Prueba de cámara de crecimiento en solución de Hoagland modificada	A bajas concentraciones, los ácidos fúlvicos complejaron Pb ²⁺ libre tóxico y aumentaron la captación de Pb sin causar toxicidad por Pb; a altas concentraciones, los FA redujeron la captación de Pb y la toxicidad	El Pb sin ácido fúlvico induce la peroxidación lipídica y el H ₂ O ₂ ; el ácido fúlvico retardada la peroxidación lipídica
Crisantemo (Chrysanthemum indicum)	Ácido húmico	Mazhar et al. 2012	Ensayo en invernadero subterráneo realizado durante dos temporadas con estrés por salinidad	Aumento del crecimiento vegetativo, floración, carbohidratos totales, N, P y K con ácido húmico bajo estrés de salinidad	
Pistachos (Pistacia vera)	Ácido húmico	Moghaddam and Soleimani 2012	Ensayo del ácido húmico para mitigar el estrés por salinidad	Aumento del crecimiento de brotes con algunos tratamientos con ácido húmico bajo estrés por salinidad	Disminución de los niveles de ácido abscísico y prolina con algunos tratamientos con ácido húmico

FUENTE: Calvo, P., Nelson, L. y Kloepper, J. W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*, 383: 3-41.

Referencias bibliográficas del anexo 4

- Aguado-Santacruz, G. y Moreno-Gómez, B.** 2012. Biofertilizantes bacterianos desarrollados por el INIFAP. Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura, México, INIFAP/SAGARPA.
- Anríquez A. L., Silberman, J. E., Núñez, J. A. D. y Albanesi, A. S.** 2019. Biofertilizers in Argentina. Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment. *Soil Biology*, 55.
- Arias, M., Corozo Ayovi, R. E., Delgado Arce, R., Osorio Villegas, B., Rojas, J. C., Rengifo, D. y Suárez, P.** 2019. Cómo reducir la mancha roja causada por thrips en banano [Internet]. Quito: El Triunfo, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias; [citado 26 de mayo de 2020]. Boletín Divulgativo No. 443.
- Barra-Bucarei, L., González, M. G., Iglesias, A. F., Aguayo, G. S., Peñalosa, M. G. y Vera, P. V.** 2020. Beauveria bassiana multifunction as an endophyte: Growth promotion and biologic control of Trialeurodes vaporariorum, (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) in tomato. *Insects*, 11(9), 591.
- Bashan, Y. y de-Bashan, L. E.** 2010. Chapter Two - How the Plant Growth-Promoting Bacterium Azospirillum Promotes Plant Growth—A Critical Assessment. En: D. L. Sparks (coord.), *Advances in Agronomy*, 77-136. Academic Press.
- Beltrán-Acosta, C. R., Moreno-Velandia, C. A., Blanco, P., Villamizar, L. y Cotes, A. M.** 2010. Biological control of *Rhizoctonia solani* and growth promotion activity of *Trichoderma koningiopsis* Th003 and *Trichoderma asperellum* Th034 formulations in potato (*Solanum tuberosum*). IOBC/WPRS Bulletin, 78, 223-227.
- Bonilla Buitrago, R. R., Sordo, R. N., Venegas, N., Galvis M, A. M., Martínez S, M. M., Parra, D. y Vanegas, O.** 2000. Generación de tecnologías para la utilización de la fijación no simbiótica de nitrógeno como alternativa de fertilización. Bogotá, Editorial AGROSAVIA.
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P. y Ferrante, A.** 2015. Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1): 1-17.
- Cancino, J., Bello-Rivera, A., Cárdenas-Lozano, J., Gálvez-Cárdenas, F., García-Pérez, V., Camacho-Bojórquez, E. ... y Ramírez, F. R.** 2019. Biological control of *Anastrepha* populations in wild areas to strengthen the commercial status of mango production along the pacific coast of Mexico. En: D. Pérez Staples, F. Días-Fleischer, P. Montoya y M. Vera: *Area-Wide Management of Fruit Fly Pests*, 235-249). Boca Ratón, Florida (Estados Unidos), CRC Press.
- Chaudhary, P., Singh, S., Chaudhary, A., Sharma, A. y Kumar, G.** 2022. Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Chulze, S. N., Palazzini, J. M., Torres, A. M., Barros, G., Ponsone, M. L., Geisen, R. ... y Köhl, J.** 2014. Biological control as a strategy to reduce the impact of mycotoxins in peanuts, grapes and cereals in Argentina. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 32(4): 471-479.

- Colantoni A. y Rajabihamedani S.** 2019. Bioestimolanti e sostenibilità ambientale delle colture. En: G. Colla y Y. Rouphael (coords.). *Bioestimolanti per un'agricoltura sostenibile*, 143-153. Verona, L'informatore agrario.
- Cool Zambrano C. A.** 2010. Evaluación de bio-fertilizante a base de cepas de *Azospirillum spp.* en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad INIAP 101, en el sector Ainche, provincia de Chimborazo. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Estatal de Bolívar.
- da Silva, H. A. O., Teixeira, W. D., Borges, Á. V., Silva Junior, A. L., Alves, K. S., Rodrigues Junior, O. M., de Abreu, L. M.** 2021. Biocontrol of potato early blight and suppression of *Alternaria grandis* sporulation by *Clonostachys spp.* *Plant Pathology*, 70(7): 1677-1685.
- de Faria, A. F., Schulman, P., Meyer, M. C., Campos, H. D., Cruz-Magalhães, V., Godoy, C. V. ... y Medeiros, F. H.** 2022. Seven years of white mold biocontrol product's performance efficacy on *Sclerotinia sclerotiorum* carpogenic germination in Brazil: A meta-analysis. *Biological Control*, 176: 105080.
- De Pascale, S., Rouphael, Y., Cirillo, C. y Colla, G.** 2020. Plant biostimulants in greenhouse horticulture: recent advances and challenges ahead. *Acta Horti*, 1271: 327-334.
- Delgado, A., Hall, R., Navia, D., Viera, W., Báez, F., Arias, M. y Jackson, T.** 2017. Evaluation of pyrethrum, extract of *Saccharopolyspora spinosa*, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for the control of *Chaetanaphothrips signipennis*, a pest of banana. En: Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Society for Invertebrate Pathology. San Diego: Society for Invertebrate Pathology, 78-79
- Espinel, C., Zuluaga, M.V., Jiménez, N. y Gómez, M.** 2012. Uso del bioplaguicida a base de *Lecanicillium lecanii* para el control de *Bemisia tabaci* en el cultivo de berenjena. En: M. Gómez, L. Villamizar, C. Espinel, E. Varón, N. Jiménez, M. V. Zuluaga y A. López (coords.), *Uso de Lecanicillium lecanii para el control de la mosca blanca Bemisia tabaci en algodón y berenjena*, 45-58. Bogotá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- FAO.** 2022. *Sustainable and circular bioeconomy in the biodiversity agenda: Opportunities to conserve and restore biodiversity in agrifood systems through bioeconomy practices*. Roma.
- Feitosa de Vasconcelos, C. y Garófalo Chaves, H.** 2020. *Bioestimulants and Their Role in Improving Plant Growth under Abiotic Stresses*. Londres, IntechOpen.
- Fenibo, E. O., Ijoma, G. N. y Matambo, T.** 2021. Biopesticides in Sustainable Agriculture: A Critical Sustainable Development Driver Governed by Green Chemistry Principles. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5.
- Galindo, E., Serrano-Carreón, L., Gutiérrez, C. R., Balderas-Ruiz, K. A., Muñoz-Celaya, A. L. y ... Arroyo- Colín, J.** 2015. Desarrollo histórico y los retos tecnológicos y legales para comercializar Fungifree AB®, el primer biofungicida 100 % mexicano. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 18(1): 52-60.
- Gao, N., Shen, W., Kakuta, H., Tanaka, N., Fujiwara, T., Nishizawa, T., Takaya, N., Nagamine, T., Isobe, K., Otsuka, Sh. y Senoo, K.** 2016. Inoculation with nitrous oxide (N₂O)-reducing denitrifier strains simultaneously mitigates N₂O emission from pasture soil and promotes growth of pasture plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 97: 83-91

- Gao, Y. y Cabrera Serrenho, A.** 2023. Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizers could be reduced by up to one-fifth of current levels by 2050 with combined interventions. *Nat Food*, 4: 170–178.
- Garzón, I., Villamizar, L., Cotes, A., García, J. y López-Ávila, A.** 2006. Evaluación de *Lecanicillium lecanii* para el control de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) en tomate. En A. Cotes, A. López-Ávila, L. Villamizar, A. Díaz, C. Espinel, L. Torres y J. García (coords.), *Resumen de investigaciones en el control biológico de las moscas blancas Bemisia tabaci y Trialeurodes vaporariorum*. Bogotá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Girón Molina, J. B. y Llallahui Isasi, C.** 2018. Abonamiento orgánico y microorganismos eficientes en la absorción de fósforo por maíz morado (*Zea mays* L.). *RevInvestigacion*, 26:11-6.
- Glick, B. R. y Gamalero, E.** 2021. Recent Developments in the Study of Plant Microbiomes. *Microorganisms*, 9(7).
- Gómez, J., Guevara, J., Cuartas, P., Espinel, C. y Villamizar, L.** 2013. Microencapsulated *Spodoptera frugiperda* nucleopolyhedrovirus: insecticidal activity and effect on arthropod populations in maize. *Biocontrol Science and Technology*, 23(7): 829-846.
- Gofñi, O., Quille, P. y O'Connell, Sh.** 2018. Ascophyllum nodosum extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126: 63-73.
- Heimpel, G. E., Yang Y., Hill, J. D. y Ragsdale, D. W.** 2013. Environmental consequences of invasive species: greenhouse gas emissions of insecticide use and the role of biological control in reducing emissions. *PLoS One*, 8(8): e72293.
- Herrmann, M. N., Wang, Y., Hartung, J., Hartmann, T., Zhang, W., Nkebiwe, P. M., Chen, X., Müller, T. y Yang, H.** 2022. A Global Network Meta-Analysis of the Promotion of Crop Growth, Yield, and Quality by Bioeffectors. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Hoyos, L., Galvis, F. y Rodríguez, D.** 2012. Aislamientos nativos y foráneos de *Trichoderma* para el control de Rizoctonias en papa criolla. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(1): 5-15.
- Hungria, M. y Nogueira, M. A.** 2019. Tecnologias de inoculação da cultura da soja: Mitos, verdades e desafios. En: Boletim de Pesquisa n. 19, 2019/2020. Rondonópolis: Fundação MT. p. 50-62. (Fundação MT. Boletim, 19).
- Hungria M. y Nogueira, M. A.** 2022. Capítulo 8 Fixação biológica do nitrogênio. em: M. C. Meyer, A. de Freitas Bueno, S. M. Mazaró y J. C. da Silva (coords.) *Bioinsumos na cultura da soja*, 141-162. Brasília, Embrapa.
- Jiménez, L., García, J., Villamizar, L. y Cotes, A. M.** 2006. Evaluación de técnicas de aplicación de un bioplaguicida para el control de la mosca blanca de los invernaderos *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) en habichuela. En: A. Cotes, A. López-Ávila, L. Villamizar, A. Díaz, C. Espinel, L. Torres y J. García (coords.), *Resumen de investigaciones en el control biológico de las moscas blancas Bemisia tabaci y Trialeurodes vaporariorum*. Bogotá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Kantha, T., Kantachote, D. y Klongdee, N.** 2015. Potential of biofertilizers from selected *Rhodopseudomonas palustris* strains to assist rice (*Oryza sativa* L. subsp. indica) growth under salt stress and to reduce greenhouse gas emissions. *Ann Microbiol*, 65: 2109–2118.

- Kløverpris, J. H., Scheel, C. N. y Schmidt, J.** 2020. Assessing life cycle impacts from changes in agricultural practices of crop production. *Int J Life Cycle Assess*, 25: 1991–2007.
- Kumar, S., Diksha, Sindhu, S. S. y Kumar, R.** 2021. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 3: 100094.
- Kumar, S., Sindhu, S. S. y Kumar, R.** 2022. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 3:100094.
- Leggett, M., Díaz-Zoritan M., Koivunen, M., Bowman, R., Pesek, R., Stevenson, C. y Leister, T.** 2017. Soybean Response to Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* in the United States and Argentina. *Agronomy Journal*, 109: 1031–1038.
- León Ttacca, B., Ortiz Calcina, N., Condori Ticona, N. y Chura Yupanqui, E.** 2018. Cepas de *Trichoderma* con capacidad endofítica sobre el control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum.) y mejora del rendimiento de quinua. *Rev Investig Altoandin*; 20(1): 19-30.
- León, M., Beltrán, G. A., Campos, J. A. y Juan, C.** 2010. *Enemigos naturales y manejo integrado del gusano cachón (Erinnyis ello) en el cultivo del caucho (Hevea brasiliensis)*. Bogotá, Editorial AGROSAVIA.
- Liang, C. C., Li, T., Xiao, Y. P., Liu, M. J., Zhang, H. B. y Zhao, Z.W.** 2009. Effects of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on maize grown in multi-metal contaminated soils. *Int J Phytoremediation*, 11(8): 692-703.
- López, M., Martínez Viera, R., Brossard Fabrè, M., Bolívar, A., Alfonso, N., Alba, A. y Pereira Abreo, H.** 2008. Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos. *Agronomía Tropical*, 58: 391-401.
- Madinat-ul-Nisa, D. S., Nazki, I., Mushtaq, N. y Malik, K.** 2016. Impact of integrated use of biofertilizers with reduced doses of chemical fertilizers in flower crops. *Adv. Life Sci.*, 5(21): 9555–9559.
- Mahmud, A., Upadhyay, S. K., Srivastava, A. K. y Bhojiya, A. A.** 2021. Biofertilizers: A Nexus between soil fertility and crop productivity under abiotic stress. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3: 100063.
- Mau, Y. S., Prayetno, R. S., Kaka, H., Naat, K. D., Henuk, J. B. D., Hahuly, M. V. ... y Gandut, Y. R. Y.** 2022. Efficacy of indigenous *Trichoderma* isolates of West Timor, Indonesia, as biocontrol agents of brown spot (*Drechslera oryzae*) on two upland rice varieties. *Egypt J Biol Pest Control*, 32: 62.
- Mendoza Beltrán, A., Scheel, C. N. y Fitton, N.** 2021. Assessing life cycle environmental impacts of inoculating soybeans in Argentina with *Bradyrhizobium japonicum*. *Int J Life Cycle Assess*, 26: 1570–1585.
- Mendoza-Herrera, A. y Cruz-Hernández, M. A.** 2010. Empleo de *Azospirillum* como biofertilizante. *Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura*. México, INIFAP/SAGARPA.
- Menegat, S., Ledo, A. y Tirado, R.** 2022. Greenhouse gas emissions from global production and use of nitrogen synthetic fertilisers in agriculture. *Sci Rep*, 12: 14490.
- Meyer, M., Campos, H., Godoy, C. y Utiamada, C.** 2016. Ensaio cooperativos de controle biológico de mofo branco na cultura da soja - safras 2012 a 2015. *Documentos*, 368, 19-46.

- Mirik, M., Aysan, Y. y Çinar, Ö.** 2008. Biological control of bacterial spot disease of pepper with *Bacillus* strains. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32: 381-90.
- Montealegre, J., Valderrama, L., Sánchez, S., Herrera, R., Besoain, X. y Pérez, L. M.** 2010. Biological control of *Rhizoctonia solani* in tomatoes with *Trichoderma harzianum* mutants. *Electronic Journal of Biotechnology*, 13(2): 1-2.
- Moreno, C. A., García, L. F., Zapata, Y., Beltrán, C. y Zuluaga, M. V.** 2020. *Tricotec® WG biofungicida*. Bogotá, Editorial AGROSAVIA.
- Nephali L., Piater L.A., Dubery I.A., Patterson V., Huyser J., Burgess K. y Tugizimana F.** 2020. Biostimulants for Plant Growth and Mitigation of Abiotic Stresses: A Metabolomics Perspective. *Metabolites*, 10(12): 505.
- Oliveira, I. J., Fontes, J. R. A., Pereira, B. F. F. y Muniz, A. W.** 2018. Inoculation with *Azospirillum brasiliense* increases maize yield. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5: 1-9.
- Paiva, P. E. B. y Yamamoto, P. T.** 2015. Natural parasitism of the citrus leafminer (Lepidoptera: Gracillariidae) over eight years in seven citrus regions of São Paulo, Brazil. *Florida Entomologist*, 98(2): 660-664.
- Palazzini, J. M., Alberione, E., Torres, A., Donat, C., Köhl, J. y Chulze, S.** 2016. Biological control of *Fusarium graminearum sensu stricto*, causal agent of *Fusarium* head blight of wheat, using formulated antagonists under field conditions in Argentina. *Biological Control*, 94: 56-61.
- Parewa, H. P., Joshi, N., Singh Meena, V., Joshi, S., Choudhary, A., Ram, M., Meena, S. C. y Kumar Jain, L.** 2021. Chapter 9 - Role of biofertilizers and biopesticides in organic farming. En: V. Singh Meena, S. Kumari Meena, A. Rakshit, J. Stanley. y C. Srinivasarao (coords.), *Advances in Organic Farming*, 133-159. Sawaston (Reino Unido), Woodhead Publishing.
- Pereira, N. C. M., Galindo, F. S., Gazola, R. P. D., Dupas, E., Rosa, P. A. L., Mortinho, E. S. y Filho, M. C. M. T.** 2020. Corn Yield and Phosphorus Use Efficiency Response to Phosphorus Rates Associated with Plant Growth Promoting Bacteria. *Frontiers in Environmental Science*, 8: 40.
- Rajabi Hamedani, S., Roupheal, Y., Colla, G., Colantoni, A. y Cardarelli, M.** 2020. Biostimulants as a Tool for Improving Environmental Sustainability of Greenhouse Vegetable Crops. *Sustainability*, 12 (5101): 1-10.
- Rodríguez, M., Gerding, M. y France, A.** 2006. Efectividad de aislamientos de hongos entomopatógenos sobre larvas de polilla del tomate *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agricultura Técnica*, 66(2): 159-165.
- Rojas, P. M., Limachi, J. M. y Ortuño, N.** 2012. Uso de microorganismos nativos como promotores de crecimiento y supresores de patógenos en el cultivo de la papa en Bolivia. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 17(1): 74-96.
- Romero-Perdomo, F., Abril, J., Camelo, M., Moreno-Galván, A., Pastrana, I., Rojas-Tapias, D. y Bonilla, R.** 2017. *Azotobacter chroococcum* as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (Go (beto, 124) (beto, 124) *Gossypium hirsutum*): Effect in reducing N fertilization. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4): 377-383.

- Sánchez, J., Iturralde, P., Koch, A., Tello, C., Martínez, D., Proaño, N. ... y Flores, F.** 2019. Dactylonectria and Ilyonectria species causing black foot disease of Andean Blackberry (*Rubus Glaucus Benth*) in Ecuador. *Diversity*; 11(11): 218.
- Sangoquiza-Caiza, C. A.** 2011. *Selección de cepas de Azospirillum spp. como biofertilizante de Zea mays, L. bajo estrés salino*. Quito, Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
- Sartori, M., Nesci, A., García, J., Passone, M. A., Montemarani, A. y Etcheverry, M.** 2017. Efficacy of epiphytic bacteria to prevent northern leaf blight caused by *Exserohilum turcicum* in maize. *Argentina de Microbiología*, 49(1): 75-82.
- Singh, R. P. y Jha, P. N.** 2017. The PGPR *Stenotrophomonas maltophilia* SBP-9 Augments Resistance against Biotic and Abiotic Stress in Wheat Plants. *Frontiers in Microbiology*, 8.
- Symanczik S., Gisler M., Thonar C., Schlaeppi K., Van der Heijden M., Kahmen A., Boller Th. y Mäder P.** 2017. Application of Mycorrhiza and Soil from a Permaculture System Improved Phosphorus Acquisition in Naranjilla. *Frontiers in Plant Science*, 8.
- Thomson, A. J., Giannopoulos, G., Pretty, J., Bagg, E. M. y Richardson, D. J.** 2012. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emission. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 367 (1593): 1157-68.
- Topolovec-Pintarić, S, Cvjetković, B. y Jurjević, Z.** 1999. Experience in integrated chemical-biological control of grey mould (*Botrytis cinerea*) on grapevines in Croatia. *Journal of Wine Research*, 10(1): 33-41.
- Valery, A. y Reyes, I.** 2013. Evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento bajo diferentes esquemas de fertilización en el cultivo de maíz variedad HIMECA-95. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15: 81-8.
- Vernieri, P., Ferrante, A., Borghesi, E. y Mugnai, S.** 2006. Biostimulants: a tool for improving quality and yield (=Biostimolanti: uno strumento per migliorare la qualità delle produzioni). *Fertilitas Agrorum*, 1: 17-22.
- Villamizar, L., Zeddám, J., Espinel, C. y Cotes, A.** 2005. Implementación de técnicas de control de calidad para la producción de un bioplaguicida a base del granulovirus de *Phthorimaea operculella* Phop GV. *Revista Colombiana de Entomología*, 31(2): 127-132.
- Walling, E. y Vaneekhaute, C.** 2020. Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their variability. *J. Environ. Manage*, 276: 111211.
- Wang, X.** 2016. Changes in CO₂ Emissions Induced by Agricultural Inputs in China over 1991–2014. *Sustainability*, 2016, 8(5): 414.
- Xu, Sh., Feng, Sh., Sun, H., Wu, Sh., Zhuang, G., Deng, Y., Bai, Zh., Jing, Ch. y Zhuang, X.** 2018. Linking N₂O Emissions from Biofertilizer-Amended Soil of Tea Plantations to the Abundance and Structure of N₂O-Reducing Microbial Communities. *Environmental Science & Technology*, 52(19): 11338-11345.
- Zambrano Mendoza, J. L., Yáñez, C., Sangoquiza Caiza, C. A., Limongi Andrade, R., Alarcón Cobefña, F., Zambrano, E. E.,... y Pinargote García, L. F.** 2019. *Situación del cultivo de maíz en Ecuador: investigación y desarrollo de tecnologías en el Iniap*. Quito.

- Zambrano-Mendoza, J. L., Sangoquiza-Caiza, C. A., Campaña-Cruz, D. F. y Yáñez-Guzmán, C. F.** 2021. Use of Biofertilizers in Agricultural Production. *Technology in Agriculture*.
- Zapata, J. A. y Cotes, A. M.** 2013. Eficacia de dos prototipos de bioplaguicida a base de *R. glutinis* cepa LvCo7 y un bioplaguicida a base de *T. koningiopsis* cepa Th003 en el control de *B. cinerea* en cultivos de mora. En J. Zapata (coord.), *LvCo7 para el control de Botrytis cinerea en cultivos de mora*, 73-79. Mosquera, Colombia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Zapata, Y., Díaz, A., Grijalba, E., Rodríguez, F., Elad, Y. y Cotes, A. M.** 2016. Phyllosphere yeasts with potential for biological control of *Botrytis cinerea* in rose. *Acta Hortic.*, 1144: 77-83.

Anexo 5

Adquisiciones y fusiones entre grandes compañías agroquímicas y empresas productoras de bioinsumos

Cuadro 23

Adquisiciones y fusiones entre grandes compañías agroquímicas y empresas productoras de bioinsumos

Compañía	Tipo de acuerdo	Empresa objetivo	Año	Valor (en USD)
BASF	Adquisición	Isobionics	2019	No ha sido divulgado públicamente.
	Adquisición	Becker Underwood	2012	1 020 millones
Bayer	Asociación	Ginkgo Bioworks	2017	100 millones
	Adquisición	AgraQuest	2018	425 millones
	Asociación	Flagship Ventures	2015	
Corteva Agriscience	Adquisición	Stoller	2022	1 200 millones
	Asociación	Ginkgo Bioworks	2021	
Dow AgroSciences	Adquisición	Alforex Seed	2014	No ha sido divulgado públicamente
DuPont	Adquisición de licencia	Marrone Bio Innovations	2018	No ha sido divulgado públicamente
	Adquisición	Taxon Biosciences	2015	No ha sido divulgado públicamente
	Asociación	Hexima	2008	
FMC Corp.	Asociación	Chr. Hansen	2018	
Lallemand Inc.	Adquisición	Biotec BetaGlucans	2021	No ha sido divulgado públicamente
Platform Specialty Products	Adquisición	Arysta LifeScience	2015	3 500 millones
Sumitomo Chemical	Asociación	Evolva	2015	
Syngenta	Adquisición	Valagro	2020	No ha sido divulgado públicamente
	Asociación	Novozymes	2013	
	Asociación	Ginkgo Bioworks	2017	
	Adquisición	DevGen	2012	523 millones
	Adquisición	Pasteuria Bioscience	2012	113 millones

FUENTE: Starobinsky, G., Monzón, J., Di Marzo Broggi, E. y Braude, H. 2021. Bioinsumos para la agricultura que demandan esfuerzos de investigación y desarrollo. Capacidades existentes y estrategia de política pública para impulsar su desarrollo en Argentina. Documentos de Trabajo del CCE n° 17. Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. Buenos Aires.

Anexo 6

Proyectos apoyados por las principales IFI en el área de bioinsumos actualmente en curso en ALC

Cuadro 24

Proyectos adoptados por las principales IFI en el área de bioinsumos en América Latina y el Caribe

Tipo de actividad del proyecto				
País/ nombre de proyecto/ IFI	Asistencia Técnica	Apoyo a Inversión	Apoyo a desarrollo de políticas y regulatorios	Comentarios
Belice Be Resilient FIDA GCF GEF	Asistencia técnica para la producción sostenible y reducción del uso de agroquímicos (fertilizantes y pesticidas) y producción de compost			El proyecto Be Resilient (GCF-GEF-FIDA) propone una sustitución con fertilizantes y pesticidas orgánicos si ellos estuvieran disponibles, no hay un apoyo para el desarrollo de la oferta
Colombia Proyecto GCF Iniciativas climáticamente inteligentes para la adaptación al cambio climático y sostenibilidad en los sistemas de producción agrícola priorizados en Colombia (CSICAP)	Asistencia Técnica para producción sostenible y reducción del uso de agroquímicos, además de sustituirlos por bioinsumos			El proyecto no propone una estrategia de adopción, uso o desarrollo de bioinsumos a pesar del fuerte potencial existente en el país. No se encontró tampoco un análisis de este sector. El proyecto apoya una actividad que consiste en implementar modelos de negocio inclusivos resilientes al clima y bajos en carbono para los productos y servicios agrícolas. No especifica qué tipo de negocios son elegibles. Conociendo el contexto colombiano, apoyar la producción y comercialización de bioinsumos, podría ser una estrategia válida
Proyecto Regional GCF Adaptación basada en ecosistemas para aumentar la resiliencia climática en el Corredor Seco Centroamericano y las Zonas Áridas de Honduras, Nicaragua, Guatemala, República Dominicana y El Salvador	Asistencia técnica para producción sostenible y aplicación y producción de compost bajo prácticas agroecológicas (prácticas de adaptación basadas en el ecosistema)			No existe una real estrategia para producción de bioinsumos más que para uso y autoproducción de fertilizantes orgánicos

<p>Regional BID-FONTAGRO Mayor Producción Agrícola con Menor Emisión de Óxido Nitroso- Argentina, Uruguay, Chile, Colombia, España</p>		<p>Inversión pública para mejorar el I+D en la generación de inoculantes climáticamente inteligentes para reducir la emisión de óxido nitroso en más de un 35 %</p>		
<p>Regional BID-FONTAGRO</p> <p>Bioproceso Reductor de la Solubilidad del Cadmio Rizosférico en Plantas de Cacao- Argentina, Ecuador, España</p>	<p>formular el bioproceso en biorreactores (TRL3-4), 3) Implementar y Escalar a nivel TRL 6 -7 y 4)</p>	<p>Crear un Laboratorio de Emprendedores</p>	<p>Gestionar conocimiento, comunicación y transferencia</p>	<p>Proyecto de asistencia técnica donde se apoya de manera transversal el desarrollo de un bioinsumo específico. Su objetivo es disminuir la concentración de Cd a valores menores de 0,8 mg kg⁻¹ en las almendras de cacao mediante la formulación de un bioproceso innovador climáticamente inteligente, acompañado por un protocolo de aplicación en territorio que será transferido por el personal debidamente capacitado y certificado</p>
<p>Regional BID- FONTAGRO</p> <p>Fortalecimiento de Capacidades para la Prevención y el Manejo de la Marchitez por Fusarium de las Musáceas Foc R4T en América Latina y el Caribe</p>	<p>Evaluar prácticas de bioseguridad y manejo del suelo con énfasis en control biológico para la supresión del patógeno, evaluar materiales promisorios por su resistencia a Foc R4T; y gestionar y transferir conocimientos y tecnologías generadas para la prevención, contención y manejo de la marchitez por Fusarium de las musáceas, con énfasis en Foc R4T</p>			<p>Proyecto de asistencia técnica que apoya el I+D</p>
<p>Proyecto BID Regional Taller de capacitación acerca de la producción de biofertilizantes a partir de desechos agropecuarios en marco de resiliencia climática</p>	<p>Capacitación para autoproducción de biofertilizantes</p>			

<p>Brasil Banco Mundial DPF de Recuperación Sostenible para el Estado Brasileño de Goiás</p>	<p>Promoviendo la adopción de bioinsumos por parte de los agricultores familiares a través de la capacitación y formación de las partes interesadas, campañas de comunicación; y promoviendo la integración de los instrumentos de crédito existentes con el programa</p>	<p>Establecer instrumentos de crédito e inversión para promover el desarrollo y el uso de bioinsumos</p>	<p>Promover la elaboración de políticas, programas y planes a nivel estatal para fomentar el uso de bioinsumos; proporcionando un marco para el registro de bioinsumos; apoyando la producción local de bioinsumos a través de asociaciones con universidades y centros de investigación</p>	
<p>Paraguay Banco Mundial Proyecto de Acceso a Mercados para Productos Agrícolas</p>	<p>Asistencia técnica a productores para el reemplazo de agroquímicos por biopesticidas</p>	<p>Apoyo de inversión en subproyectos de producción orgánica de varias categorías</p>		<p>El proyecto solo trabaja en la demanda y adopción de algunos bioinsumos como parte de sustitución de agroquímicos clásicos. No trabaja sobre la oferta o regulación</p>
<p>Ecuador Banco Mundial Proyecto de Modernización de la Agricultura Familiar Sostenible</p>	<p>Asistencia técnica a productores para la realización y uso de compost</p>			
<p>Regional Caribe FAO GEF La producción de insectos como fuente alternativa de proteína de alta calidad para piensos avícolas y acuícolas.</p>	<p>Asistencia técnica específica a productores para el aprovechamiento de subproductos. Asistencia técnica para su adopción y producción</p>			<p>Cooperación técnica en el Caribe para producción de biofertilizante a partir de subproductos de la acuicultura</p>

<p>Venezuela (República Bolivariana de) FAO</p> <p>Manejo integrado de paisajes de uso múltiple para el desarrollo sostenible de los Andes Venezolanos</p>	<p>Asistencia técnica para la producción primaria sostenible y apoyo a organizaciones y empresas</p>	<p>Implementación de estrategias de economía circular para biofábricas con subproductos de las actividades productivas adscritas a la red de abastecimiento de alimentos del Meta. Producción de bioles</p> <p>Desarrollo de los planes de fortalecimiento empresarial y los modelos técnicos del agronegocio incluido la realización de biofábricas.</p>		<p>bioeconomía en municipios, para la generación de cadenas de producción, distribución y comercialización con prácticas agrícolas resilientes al clima apoyando acceso a mercados en municipios con oportunidades de uso sostenible de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos</p>
<p>Cuba FIDA PRODECAFE</p>	<p>Provisión de los servicios de asistencia técnica, además de las capacitaciones al personal y productores</p>	<p>Se financia producción de material genético mejorado, y control biológico de plagas incluyendo las de investigación y capacitación a la producción de café y cacao las estructuras escuelas, la producción de enemigos biológicos para el control de plagas, CREEs, uno para el café y uno para el cacao)</p>		<p>En el caso de Cuba, que tiene una historia de producción y desarrollo de bioinsumos, FIDA financia la producción y adopción principalmente</p>
<p>Uruguay FAO GEF</p> <p>Fortalecimiento de capacidades para el manejo ambientalmente racional de plaguicidas COP en Uruguay (MSP)</p>	<p>Asistencia técnica para la transición y reducir el uso de pesticidas tradicionales. Apoyo a la implementación de MIP y usos de biopesticidas disponibles como sustitutos</p>	<p>Apoyo a investigación para el desarrollo de biopesticidas alternativos. Pruebas de campo y análisis de factibilidad económica de transiciones</p>	<p>Trabajo para mejorar los marcos regulatorios de uso y almacenamiento de pesticidas tradicionales, mejorar el análisis de impacto ambiental y reducir su aplicación</p>	<p>El proyecto trabaja desde el marco regulatorio, investigación hasta adopción para apoyar un inicio de transición hacia la reducción de pesticidas tradicionales, particularmente los de alta toxicidad. Se apoya en la aplicación de MIP y en la búsqueda y uso de biopesticidas ya disponibles. Trabaja por un lado en la parte de investigación y por otro en la adopción de los existentes, no desarrollando el escalamiento y comercialización de los posibles nuevos desarrollados por la investigación</p>

<p>FAO ONU República Dominicana</p> <p>Apoyo integrado de las Naciones Unidas a la República Dominicana para mitigar el impacto de la crisis mundial en los alimentos, la energía y las finanzas</p>	<p>Asistencia técnica para reemplazo de fertilizantes orgánicos por biofertilizantes como respuesta a la dificultad para importarlos y aumento de costos</p>		<p>Asistencia en marco regulatorio</p>	
<p>FAO Colombia</p> <p>Apoyo integrado de las Naciones Unidas a la República Dominicana para mitigar el impacto de la crisis mundial en los alimentos, la energía y las finanzas</p>	<p>Plan de acompañamiento técnico para las biofábricas</p>	<p>Apoyo en estrategias de economía circular y apoyo a biofábricas para la preparación de biofertilizantes</p>		
<p>FAO UE Cuba</p> <p>Modelos pilotos, horizontales y sostenibles, de gestión del conocimiento y transferencia de tecnología en agroecología</p>		<p>Equipar laboratorios para garantizar a nivel científico la selección y reproducción de semillas, la producción de bioinsecticidas, la producción de medios de control biológico (CREE)</p>		<p>Parte de un proyecto de apoyo al desarrollo de la agroecología</p>
<p>IICA Colombia</p>	<p>Se promueve la actualización y divulgación técnica del uso de bioinsumos en el sector agropecuario para sistemas de extensión</p>	<p>Apoyo la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria la cual formulará y desarrollará un prototipo de bioinsumo que aumente el valor agronómico de minerales fosfatados para fertilización en agricultura y financiamiento a nuevas plantas de producción de bioinsumos</p>	<p>El programa revisará y propondrá ajustes a las normas que adelantan las entidades sanitarias y fitosanitarias para la obtención de registros de producción, con el fin de hacerlas específicas a las particularidades de los bioinsumos de uso agrícola</p>	

<p>IICA Brasil Ampliando el acceso de la agricultura familiar a los mercados nacionales e internacionales, fortaleciendo políticas públicas y proyectos estratégicos relacionados con la bioeconomía, el extractivismo y la biodiversidad en Brasil</p>			<p>Modelos de estructuración de las cadenas de bioinsumos</p>	
<p>IICA Uruguay Fortalecimiento de las Capacidades en Biotecnología para la Erradicación del Gusano Barrenador del Ganado</p>	<p>Desarrollo de capacidades técnicas del INIA</p>	<p>Inversión en materiales de laboratorio</p>		<p>Apoyar al Gobierno del Uruguay en el desarrollo de las capacidades científicas, tecnológicas e institucionales para la producción a escala piloto de moscas genéticamente editadas, con el fin de controlar y erradicar el gusano barrenador del ganado (GBG) en el país</p>

FUENTE: elaboración propia a partir de la información disponible en los buscadores de proyectos de los sitios web del BID, BM, IICA, FIDA, GCF, GEF y del sistema interno de la FAO.

Anexo 7

Problemáticas e intervenciones sugeridas para la promoción de la adopción y desarrollo de bioinsumos

Cuadro 25

Problemáticas e intervenciones sugeridas en el diseño de los programas y proyectos para la promoción de la adopción y desarrollo de bioinsumos, según los actores relevantes

Actores /stakeholders/ relevantes en Desarrollo y uso de bioinsumos en el marco de un proyecto e inversión	Debilidades o vacíos identificados	Acciones/ inversiones posibles
<p>Centros de investigación y desarrollo tecnológico</p> <p>Universidades</p>	<p>Insuficiente infraestructura de I+D y/o de formación técnica específica</p> <p>Poca vinculación con personas y empresas productoras agrícolas</p> <p>Escasez de pruebas de concepto y prototipado por falta de financiamiento y conocimiento específico</p> <p>Poca cantidad de pruebas piloto y demostraciones</p> <p>Ausencia de formación técnica y universitaria que integre a los bioinsumos como alternativa sostenible</p> <p>Inadecuación de los reglamentos de trabajo y los criterios de evaluación de personal de investigación para incentivar la transferencia tecnológica y la generación de <i>spin-offs</i></p> <p>Falta de personal capacitado para gestionar la transferencia tecnológica y la propiedad intelectual</p>	<p>Fortalecimiento técnico (especialización para ingenieros agrónomos, microbiólogos, biólogos, químicos farmacéuticos e ingenieros químicos, principalmente), apoyo a cursos, becas e intercambios</p> <p>Financiamiento de proyectos de I+D “orientados” por prioridades</p> <p>Financiamiento para conformación de grupos de investigación en áreas de vacancia</p> <p>Apoyo a la inversión en equipos e infraestructura apropiada, incluyendo el financiamiento de espacios de incubación</p> <p>Apoyo a instancias de intercambio de conocimiento / acciones de investigación participativa (centros experimentales abiertos, visitas y trabajo a campo junto con extensionistas)</p> <p>Currículo y oferta de formación técnica y universitaria adaptadas</p> <p>Revisión y adecuación de regímenes internos y criterios de evaluación de personal de investigación</p> <p>Generación de protocolos para la gestión de la propiedad intelectual</p> <p>Capacitación y/o incorporación de personal con capacidades para promover la vinculación tecnológica y gestionar la propiedad intelectual</p>
<p>Productores de bioinsumos con fines comerciales: PyMES, startups y asociaciones de productores</p>	<p>Insuficiente capital para proyectos de riesgo (basados en I+D) y <i>start-ups</i> sin <i>track-record</i></p> <p>Desarrollos potencialmente relevantes no siempre atractivos para ser invertidos por firmas de capital de riesgo (por limitaciones de escala y mercado)</p> <p>Falta de infraestructura, conocimiento y equipos para descubrir o desarrollar nuevos agentes (por ejemplo, mediante nuevos aislamientos de microorganismos) y producir microorganismos en medio líquido</p> <p>Ausencia de abastecimiento de cepas/ insumos críticos necesarios</p> <p>Bajas capacidades de prestación de servicios de control de calidad, concentración e identificación de los microorganismos</p>	<p>Subsidios para proyectos de I+D y para vinculación tecnológica con centros de I+D</p> <p>Apalancamiento a firmas de capital de riesgo</p> <p>Adequar la oferta de crédito bancario</p> <p>Asistencia técnica y acompañamiento: asociativo, técnico productivo y de gestión</p> <p>Inversiones para producción y/o almacenamiento (biofábricas asociativas)</p> <p>Generación de información sobre inversiones para la producción de bioinsumos para facilitar las evaluaciones crediticias</p> <p>Creación y/o fortalecimiento de redes de laboratorios público-privados para control de calidad</p>

<p>Productores y asociaciones de productores y/o utilizadores de bioinsumos</p>	<p>Cambio cultural: de lógica de “tratamiento” a lógica de “prevención” Falta de conocimiento sobre prácticas de manejo agroecológicas/orgánicas Falta de información confiable sobre los resultados de la aplicación de bioinsumos Insuficiencia de capital para invertir en almacenamiento (en frío o no) Insuficiencia de acceso a canales de distribución y transporte Resistencia al cambio debido a pérdidas productivas y económicas</p>	<p>Reorientación de apoyos a la agricultura hacia la compra/producción de (bio)insumos y al capital de trabajo incremental requerido para la transición tecno-productiva (planes de negocio o incentivos fiscales) Asistencia técnica integral de prácticas productivas resilientes, incluido uso y producción de bioinsumos Subsidios a la inversión privada en pequeña infraestructura (por ejemplo, salas de producción equipadas con contenedores para la fermentación e infraestructura para el almacenamiento de los productos terminados y la materia prima) Financiamiento a personas productoras líderes para que destinen parcelas como espacios de demostración Apoyo para acceso a financiamiento Campañas de difusión</p>
<p>Condiciones habilitantes</p>	<p>Debilidades o vacíos identificados</p>	<p>Acciones/ inversiones posibles</p>
<p>Marco estratégico, normativo y leyes</p>	<p>Falta de protocolos específicos de evaluación para registro de bioinsumos Ausencia de regulación de la autoproducción Normas de registro no adaptadas para los bioinsumos, tiempos extendidos y certificaciones difíciles de conseguir Demoras en la implementación del Protocolo de Nagoya Débil planeamiento estratégico de inversiones en bioinsumos</p>	<p>Capacitación de personal de organismos regulatorios Protocolos de calidad (por ejemplo, el Brasil) Registro de autoproducción (en el Brasil, por ejemplo, tanto la ley como el grupo de trabajo del Consejo Estratégico) Productos de conocimiento generados para modificación de normas o proyectos de ley Mesas de diálogo para facilitar procesos y planeamiento estratégico Generación y estimación de indicadores para certificación de impactos ambientales</p>
<p>Comunicación y difusión</p>	<p>Bajo conocimiento y valorización de los beneficios de consumir productos libres de agroquímicos por parte de los gobiernos y los consumidores Débil difusión de los casos de éxito</p>	<p>Campañas de sensibilización de la sociedad civil y los consumidores Campañas de sensibilización de los funcionarios públicos Campañas de promoción y difusión de casos de éxito</p>

Anexo 8

Indicadores de producto, de resultado y estratégicos para programas y proyectos vinculados a la promoción de bioinsumos

Cuadro 26

Indicadores de producto, de resultado y estratégicos para proyectos vinculados a la promoción de bioinsumos

Enfoque	Indicador de producto a nivel proyecto	Indicador de resultado a nivel proyecto	Indicadores estratégicos (a nivel programas / políticas)
Emprendimientos / Asociatividad / Producción de bioinsumos	Asociaciones / empresas de bioinsumos agrícolas apoyadas / capacidades / creadas	Personas con nuevos trabajos / oportunidades de empleo a partir de emprendimientos en bioinsumos	Reducción del desempleo en áreas rurales / en la actividad agrícola
	Biofábricas instaladas	Asociaciones / empresas vinculadas a la producción o al uso de bioinsumos agrícolas que producen algunos de sus insumos agrícolas / que declaran aumentos en sus ganancias / sus ventas / que son rentables	Capacidad instalada local para la producción de bioinsumos agrícolas / porcentaje del valor agregado generado en el ámbito rural
	Planes de negocio en bioinsumos formulados / aprobados financiados / implementados	Toneladas de bioinsumos agrícolas producidos / comercializados / distribuidos	Aumento de las Exportaciones de Bioinsumos agrícolas
		Rendimiento en la producción de bioinsumos agrícolas	Reducción de las importaciones de agroquímicos tradicionales / porcentaje del total de agroinsumos que son de origen nacional
			Porcentaje del total de las ventas de agroinsumos que son de origen biológico

<p>Cambio de prácticas agrícolas / adopción de bioinsumos</p>	<p>Productores rurales que acceden a insumos de producción y/o paquetes tecnológicos de origen biológico</p> <p>Productores que cuentan con sistemas de producción artesanal de bioinsumos agrícolas</p> <p>Campos demostrativos en bioinsumos implementados (N~ o ha)</p> <p>Acuerdos con proveedores / empresas para el abastecimiento / la comercialización de bioinsumos</p> <p>Personas capacitadas en prácticas y/o tecnologías de producción con bioinsumos agrícolas (uso)</p> <p>Superficie alcanzada con inversiones de promoción de bioinsumos agrícolas (ha)</p> <p>Líneas de crédito / Inversiones apalancadas para la adopción de bioinsumos agrícolas</p> <p>Técnicos capacitados en prácticas y/tecnologías de producción de bioinsumos agrícolas</p>	<p>Hogares que declaran haber adoptado bioinsumos agrícolas</p> <p>Productores que declaran haber reducido la compra / el uso de insumos externos</p> <p>Hogares que señalan haber logrado un aumento en la producción / la productividad a partir de la implementación de bioinsumos agrícolas</p> <p>Hogares que señalan haber logrado una reducción de costos / pérdidas a partir de la implementación de bioinsumos agrícolas</p> <p>Reducción de gastos / cantidad en agroquímicos (plaguicidas/fertilizantes) por hectárea / por unidad producida</p>	<p>Porcentaje del total de las compras de agroinsumos por parte de los productores que son de origen biológico</p> <p>Reducción del uso de insumos externos</p> <p>Aumento de los ingresos netos de los productores agrícolas / estabilidad de los ingresos en X ciclos</p>
<p>Mitigación al cambio climático</p>	<p>Personas que acceden a bioinsumos que permiten el secuestro de carbono o reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero</p>	<p>Toneladas de emisiones de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2eq}) evitadas y/o secuestradas a partir de la implementación de bioinsumos.</p> <p>Reducción de pérdidas por estrés abiótico</p>	<p>Contribución a las NDC</p> <p>Aumento de resiliencia climática</p>
<p>Medio ambiente y recursos naturales</p>	<p>Análisis de agua / suelos realizados (N~)</p> <p>Productores capacitados / con acceso / que adoptan tecnologías en medición y seguimiento de la salud del suelo</p> <p>Productores capacitados / con acceso / que adoptan tecnologías en medición y seguimiento de la calidad del agua</p> <p>Laboratorios de suelos operando</p> <p>Análisis microbiológico de suelos realizados</p>	<p>Cantidad de organismos benéficos en el suelo</p> <p>Porcentaje de aumento en los indicadores de calidad del suelo</p> <p>Fijación biológica de nitrógeno</p> <p>Reducción de los residuos de agroquímicos, plaguicidas, NO₃, NO₂ y fósforo en el agua</p> <p>Reducción de eutrofización en los ecosistemas acuáticos</p> <p>Incremento en la biodiversidad por disminución de la pérdida de organismos no objetivo o blanco de manejo</p> <p>Porcentaje de materia orgánica del suelo</p>	<p>Reducción de la contaminación del suelo</p> <p>Reducción de la contaminación del agua</p> <p>Índice de agrobiodiversidad</p> <p>Abundancia media de especies</p>

<p>Comercialización</p>	<p>Procesos de certificación (tipo orgánico) apoyados (N-)</p>	<p>Asociaciones / hogares que señalan haber logrado un aumento en la comercialización / en el precio de sus productos a partir de la implementación de certificaciones</p> <p>Cantidad de productores que cumplen con condiciones sobre residuos tóxicos en la producción según los requerimientos de mercado</p> <p>Reducción de rechazos a las exportaciones por no cumplir con los LMR de plaguicidas</p> <p>Asociaciones / hogares que señalan haber accedido a nuevos mercados a partir de la implementación de bioinsumos</p>	<p>Nuevos mercados abastecidos</p> <p>Mejor posicionamiento en mercados externos / acceso a nuevos mercados externos</p>
<p>Regulación</p>	<p>Normativas específicas para bioinsumos agrícolas apoyadas (para la regulación de la autoproducción, la producción, la investigación y comercialización / para la distribución de regalías / Para la evaluación de productos) (N-)</p> <p>Sistemas vinculados al control y a la regulación de bioinsumos agrícolas apoyados / automatizados</p> <p>Registros únicos creados</p> <p>Instituciones apoyadas para la regulación y el control</p> <p>Protocolos desarrollados para ensayos de eficacia y seguridad de los distintos tipos de bioinsumos.</p> <p>Personal técnico / funcionarios capacitados</p> <p>Mesas de discusión apoyadas</p> <p>Campañas de sensibilización y concientización implementadas</p>	<p>Número de normativas específicas para bioinsumos formalmente actualizadas o creadas</p> <p>Procedimientos actualizados o creados para la regulación / el control de bioinsumos agrícolas</p> <p>Tiempos requeridos reducidos para la autorización de recolección de muestras, para investigación, para comercialización y para el registro de producto en bioinsumos</p> <p>Instituciones con capacidades mejoradas para la regulación y el control</p> <p>Personas alcanzadas con mensajes de difusión y concientización sobre bioinsumos agrícolas</p> <p>Marco regulatorio actualizado para la promoción de la actividad cumpliendo con estándares de calidad</p> <p>Instituciones apoyadas / capacitadas para el registro y el control de bioinsumos agrícolas</p>	

<p>Investigación y desarrollo</p>	<p>Desarrollos de productos / cantidad de proyectos de I+D en áreas de vacancia de bioinsumos agrícolas apoyados</p> <p>Instituciones fortalecidas para la investigación y el desarrollo</p> <p>Ensayos de campo financiados</p> <p>Incentivos para la Identificación nuevos agentes efectores y pruebas de concepto</p> <p>Planes de estudio de universidades y formación técnica agronómica revisados</p> <p>Posgrados especializados apoyados</p>	<p>Cantidad de nuevos bioinsumos agrícolas registrados</p> <p>Evidencia generada sobre impacto potencial (eficacia, productividad, etc.)</p>	
--	--	--	--

FUENTE: Elaboración propia.







Glosario

Agricultura de conservación: se caracteriza por mantener una capa orgánica de suelo permanente o semipermanente, formada por plantas muertas. Su función es proteger físicamente al suelo del sol, la lluvia, el viento y alimentar su biota. Los microorganismos y la fauna del suelo realizan naturalmente la función de labranza y balanceo de los nutrientes del suelo. La labranza mecánica, en cambio, disturba este proceso. De ahí que un uso mínimo o inexistente de ella, la siembra directa y las rotaciones variadas de cultivos también son elementos importantes para la agricultura de conservación.

Agroecología: es el estudio integrador de la ecología de los sistemas alimentarios sostenibles, abarcando dimensiones ecológicas, económicas y sociales. En el sistema global de las Naciones Unidas, la agroecología se enmarca en los 10 Elementos de la Agroecología, interrelacionados e interdependientes, aprobados por el Consejo de la FAO en 2019, que incluyen: 1) diversidad; 2) sinergias; 3) eficiencia; 4) resiliencia; 5) reciclaje; 6) creación e intercambio de conocimientos; 7) valores humanos y sociales; 8) cultura y tradiciones alimentarias; 9) gobernanza responsable, y 10) economía circular y solidaria.

Agroquímicos: compuestos químicos, generalmente sintéticos, de fabricación industrial, empleados en la agricultura como fertilizantes, plaguicidas o acondicionadores del suelo.

Artrópodos: animales que poseen un esqueleto externo segmentado, constituido por placas de carbonato de calcio con apéndices unidos.

Arvense (o maleza): planta no deseada que aparece en un cultivo.

Bioestimulante: producto que estimula el crecimiento de las plantas a través de la síntesis de sustancias estimuladoras del crecimiento o procesos de nutrición de las plantas, independientemente del contenido en nutrientes, con el objetivo de mejorar uno o más de los siguientes aspectos: la eficiencia en el uso de nutrientes de las plantas o su absorción, la tolerancia de las plantas al estrés abiótico o las características de calidad de los cultivos.

Biofertilizante: producto que contiene microorganismos vivos o latentes, tales como bacterias, hongos y algas, solos o en combinación, que, al aplicarlos, contribuyen a la fijación del nitrógeno atmosférico o solubilizan o movilizan nutrientes del suelo.

Biofungicida: bioplaguicida utilizado para el control de enfermedades producidas por microorganismos fitopatógenos, tales como hongos, bacterias y protistas parásitos de plantas.

Bioherbicida: bioplaguicida utilizado para el control de arvenses.

Bioinsecticida: bioplaguicida utilizado para el control de insectos plaga.

Biol: abono natural generado por la descomposición anaeróbica de diferentes desechos orgánicos.

Biomolécula: sustancia producida por las células y los organismos vivos. Tienen una amplia gama de tamaños y estructuras y realizan variadas funciones. Los cuatro tipos principales de biomoléculas son carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y proteínas.

Bionematicida: bioplaguicida utilizado para el control de nemátodos plaga.

Bioplaguicida: agente de control de plagas basado en microorganismos vivos y productos bioquímicos derivados de microorganismos, insectos y plantas, utilizados para resolver los problemas generados por las plagas (Koma, 2012; Rajashekar *et al.*, 2010; Yao *et al.*, 2008).

Bioplaguicida bioquímico: sustancia natural que controla las plagas. Incluye sustancias que interfieren con el apareamiento, como las feromonas sexuales de insectos, así como varios extractos de plantas aromáticas que atraen plagas de insectos a las trampas (EPA, 2022a).

Bioplaguicida botánico: extractos de plantas y aceites esenciales utilizados para el control de plagas. Según algunos autores, estos productos se incluyen dentro de los bioplaguicidas bioquímicos (Lahlali *et al.*, 2022).

Bioplaguicida microbiano: bioplaguicida cuyo principio activo está constituido por microorganismos (bacterias, hongos, virus o protozoarios) o algas (EPA, 2022a).

Biorremediador: microorganismo, planta o enzima microbiana o vegetal que se utiliza para desintoxicar los contaminantes en el suelo y otros ambientes (Gouma *et al.*, 2014).

Biorestaurador: compuesto natural utilizado para la restauración ecológica de un ecosistema, es decir, para restablecer el ecosistema nativo en áreas degradadas (Soffritti, 2019).

Biotransformador: microorganismos utilizados para acelerar el proceso de degradación de residuos orgánicos para su uso agrícola, particularmente para su aplicación en el suelo (Hadidi *et al.*, 2022; Lakhali *et al.*, 2020).

Bokashi: abono orgánico fermentado. Implica un proceso de semidescomposición aeróbica (con presencia de oxígeno), en condiciones controladas, de residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos, quimioorganotróficas, que existen en los propios residuos. En condiciones favorables, estos producen un material parcialmente estable de lenta descomposición capaz de fertilizar a las plantas y nutrir la tierra.

Compostaje: proceso controlado en el que los materiales orgánicos son digeridos aeróbica y anaeróbicamente por la actividad microbiana.

Compuestos orgánicos volátiles microbianos (mVOC, por sus siglas en inglés): compuestos lipofílicos de bajo peso molecular que contienen carbono, derivados de diferentes rutas metabólicas microbianas (Kanchiswamy, Malnoy y Maffei, 2015).

Control biológico o biocontrol: uso de agentes biológicos –como insectos, microorganismos o metabolitos microbianos– para el control de ácaros, plagas, patógenos de plantas y organismos de descomposición.

Depredador: organismo que, durante su desarrollo, consume más de un individuo presa.

Embriotoxicidad: capacidad de una sustancia para producir efectos tóxicos en la progenie durante el primer período de la preñez, desde la concepción al estado fetal.

Fertilizante orgánico: fertilizante rico en carbono derivado de materiales orgánicos, incluidos estiércol de ganado tratado o no tratado, compost, vermicompost, lodos de depuradora y otros materiales orgánicos o materiales mixtos empleados para suministrar nutrientes a los suelos.

Filosfera: superficie de las hojas de una planta, o de las partes de una planta por encima del suelo, considerada como un hábitat para microorganismos.
Inoculante: biofertilizante que se aplica a la semilla en el momento de la siembra.

Manejo integrado de plagas: la cuidadosa consideración de todas las técnicas disponibles para combatir las plagas, y la posterior integración de medidas que disminuyen el desarrollo de poblaciones de plagas y mantienen el empleo de plaguicidas y otras intervenciones a niveles económicamente justificados y que reducen al mínimo los riesgos para la salud humana, la salud animal o el medio ambiente. Mediante el manejo integrado de plagas se hace hincapié en el crecimiento de cultivos sanos, perturbando lo menos posible los ecosistemas agrícolas y fomentando los mecanismos naturales de control de plagas.

Micorrizas: asociaciones simbióticas entre un hongo y las raíces de las plantas vasculares.

Microbiota o microbioma: comunidad de microorganismos que cohabitan y colonizan el suelo. Se trata de un ecosistema propio que interactúa con las plantas influyendo en su salud.

Microorganismos promotores de crecimiento vegetal (PGPM, por sus siglas en inglés): microorganismos con capacidad de colonizar las raíces de las plantas. Otorgan beneficios a sus hospederos al modular la producción de fitohormonas, aumentar la disponibilidad de nutrientes del suelo y la resistencia contra patógenos.

Nematodo: grupo de invertebrados, conformado por gusanos cilíndricos de tamaño pequeño, que pueden ser microscópicos. La mayoría son parásitos, tanto de plantas como de animales.

Parasitoide: organismo que, durante su desarrollo, vive en o sobre el cuerpo de un solo individuo huésped, eventualmente matando a ese individuo.

Plaga: toda especie, variedad o biotipo vegetal, animal o agente patógeno dañino para las plantas y productos, materiales o entornos vegetales. Comprenden los vectores de parásitos o patógenos de las enfermedades de seres humanos y animales, así como los animales que causan perjuicio a la salud pública.

Rizobios: bacterias del perfil de suelo que fijan nitrógeno diazotrófico después de haberse establecido por endosimbiosis dentro de los nódulos radiculares de las leguminosas.

Rizosfera: región del suelo en la vecindad inmediata de las raíces de las plantas en crecimiento.

Técnica del Insecto Estéril (TIE): método de control biológico de insectos por el cual se libera al ambiente una gran cantidad de insectos estériles, generalmente machos. Dado que las hembras solo se aparean una sola vez en su vida, cuando lo hacen con un compañero estéril no producen descendencia, lo que reduce la población de la siguiente generación de insectos.

Tecnologías multiómicas: permiten analizar un gran número de moléculas a partir de muestras biológicas.

Teratogenicidad: capacidad de una sustancia para producir anomalías permanentes en la estructura o función del embrión o el feto, restricción de su crecimiento o su muerte.

Vermicompostaje: uso de lombrices de tierra para descomponer los residuos domésticos, aumentando la velocidad del compostaje con respecto a la habitual. El material obtenido de las deyecciones de las lombrices contiene cinco veces más nitrógeno, siete veces más fósforo y 11 veces más potasio que la tierra común; además, es rico en ácidos húmicos y mejora la estructura del suelo. Un sistema de vermicompostaje sano alberga otros organismos, como insectos, mohos y bacterias.

Transición productiva o agroecológica: refiere al modelo de transición dividido en las etapas de eficiencia, sustitución y rediseño.



Los bioinsumos son una pieza clave de la transición agroecológica y pueden facilitar el acceso de los productos agrícolas a algunos exigentes mercados internacionales. A su vez, la promoción y aplicación de los bioinsumos enlaza de forma directa con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ya que permite aumentar la producción y al mismo tiempo conservar y dar valor a la biodiversidad, incrementando la fertilidad de los suelos agrícolas sin comprometer el medio ambiente ni la salud de las personas. Sin embargo, en la región aún existen diversos riesgos y limitantes para su uso y desarrollo.

El estudio “Bioinsumos: oportunidades de inversión en América Latina”, explora estos limitantes y brinda orientaciones y recomendaciones específicas para gobiernos, instituciones nacionales e internacionales, productores agrícolas y empresas sobre el uso de los bioinsumos en la región de América Latina y el Caribe. Esta publicación forma parte de la serie Direcciones de inversión del programa Conocimiento para la inversión (K4I) del Centro de Inversiones de la FAO.

ISBN 978-92-5-138459-6



9 789251 384596

CC9060ES/1/12.23