



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

# CATÁLOGO DE RECURSOS GENÉTICOS NATIVOS DE MAÍCES BLANCOS

CONSERVADOS  
EN EL BANCO  
NACIONAL DE  
GERMOPLASMA  
DE NICARAGUA



# CATÁLOGO DE RECURSOS GENÉTICOS NATIVOS DE MAÍCES BLANCOS

CONSERVADOS EN EL  
BANCO NACIONAL DE  
GERMOPLASMA DE NICARAGUA

**Donald Juárez Gámez**  
**Nestor Cajina Acevedo**  
Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria

**Ivan León**  
**Alfonso Martinuz**  
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura  
Managua, 2023

Cita requerida:

Juárez Gámez, D., Cajina Acevedo, N., León, I., Martinuz, A. 2023. *Catálogo de recursos genéticos nativos de maíces blancos conservados en el Banco Nacional de Germoplasma de Nicaragua*. Managua, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc6530es>

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. 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 978-92-5-137949-3

© 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](mailto: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](http://www.fao.org/contact-us/licence-request). Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).





# ÍNDICE

|                                                                 |             |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS</b>                                 | <b>V</b>    |
| <b>PRÓLOGO</b>                                                  | <b>VI</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>                                          | <b>VII</b>  |
| <b>RESUMEN</b>                                                  | <b>VIII</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                             | <b>1</b>    |
| <b>METODOLOGÍA</b>                                              | <b>2</b>    |
| 1. Colecta de materiales genéticos criollos y acriollados       | 2           |
| 2. Caracterización morfológica                                  | 2           |
| 3. Caracterización molecular                                    | 4           |
| 4. Análisis estadísticos                                        | 6           |
| <b>RESULTADOS</b>                                               | <b>7</b>    |
| 1. Diversidad genética                                          | 7           |
| 2. Relaciones filogenéticas entre grupos de accesiones          | 11          |
| <b>DESCRIPCIÓN DE MATERIALES CRIOLLOS Y ACRIOLLADOS DE MAÍZ</b> | <b>13</b>   |
| Accesión 0038                                                   | 13          |
| Accesión 0041                                                   | 14          |
| Accesión 0053                                                   | 15          |
| Accesión 0054                                                   | 16          |
| Accesión 0055                                                   | 17          |
| Accesión 0077                                                   | 18          |
| Accesión 0102                                                   | 19          |
| Accesión 0116                                                   | 20          |
| Accesión 0182                                                   | 21          |
| Accesión 0183                                                   | 22          |
| Accesión 0184                                                   | 23          |
| Accesión 0185                                                   | 24          |
| Accesión 0188                                                   | 25          |
| Accesión 0189                                                   | 26          |
| Accesión 0233                                                   | 27          |
| Accesión 0240                                                   | 28          |

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Accesión 0335       | 29        |
| Accesión 0336       | 30        |
| Accesión 0337       | 31        |
| Accesión 0338       | 32        |
| Accesión 0339       | 33        |
| Accesión 0340       | 34        |
| Accesión 0341       | 35        |
| Accesión 0342       | 36        |
| Accesión 0344       | 37        |
| Accesión 0346       | 38        |
| Accesión 0347       | 39        |
| Accesión 0348       | 40        |
| Accesión 0351       | 41        |
| Accesión 0353       | 42        |
| Accesión 0355       | 43        |
| Accesión 0357       | 44        |
| Accesión 0358       | 45        |
| Accesión 0359       | 46        |
| Accesión 0504       | 47        |
| Accesión 0505       | 48        |
| Accesión 0511       | 49        |
| Accesión 0512       | 50        |
| Accesión 0515       | 51        |
| Accesión 0618       | 52        |
| <b>CONCLUSIONES</b> | <b>53</b> |
| <b>GLOSARIO</b>     | <b>54</b> |
| <b>REFERENCIAS</b>  | <b>55</b> |

## ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

|                |                                                                           |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>ADN</b>     | Ácido desoxirribonucleico                                                 |
| <b>AMEXCID</b> | Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo          |
| <b>BNG</b>     | Banco Nacional de Germoplasma                                             |
| <b>CNIA</b>    | Centro Nacional de Investigación Agropecuaria                             |
| <b>EDTA</b>    | Ácido etilendiaminotetraacético                                           |
| <b>FAO</b>     | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura |
| <b>INTA</b>    | Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria                         |
| <b>PCR</b>     | Reacción en cadena de la polimerasa                                       |
| <b>RACCS</b>   | Región Autónoma de la Costa Caribe Sur                                    |
| <b>mM</b>      | Micromolar                                                                |



## PRÓLOGO

El cultivo del maíz tiene una gran importancia económica y es uno de los principales cereales cultivados en el mundo. Desde su domesticación en épocas precolombinas, ha sido fundamental para la alimentación de los seres humanos y hoy en día contribuye sustancialmente a la economía de los pequeños productores y a la seguridad alimentaria de las familias nicaragüenses. El estudio del germoplasma de este cultivo ha abierto el camino a la investigación y aprovechamiento de genotipos de tipo criollo y acriollado que prosperan en el territorio nacional, sentando las bases para la identificación y cuantificación de la diversidad genética, de gran utilidad para el fitomejoramiento.

El Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, con el apoyo del programa Mesoamérica sin Hambre AMEXCID-FAO, ha impulsado la conservación *ex situ* de genotipos criollos y acriollados que nuestros productores han heredado de sus antepasados. Todo esto a través de giras de colectas en fincas de productores de todo el territorio nacional, con el propósito de resguardar, caracterizar e identificar a través de investigaciones genotipos promisorios para ser incluidos en programas de fitomejoramiento genético.

La presente publicación es el resultado de investigaciones realizadas con maíces de semilla blanca de tipo criollo y acriollado conservados en el Banco Nacional de Germoplasma ubicado en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria. Como producto de estos esfuerzos, se presenta el *Catálogo de recursos genéticos nativos de maíces blancos conservados en el Banco Nacional de Germoplasma de Nicaragua*, el cual contiene una descripción morfológica y molecular de las principales accesiones presentes en nuestra colección de maíz.

Con este catálogo tenemos motivos suficientes para sentirnos convencidos de que este nuevo aporte habrá de constituir un instrumento valioso e imprescindible de consulta y ayuda para todas aquellas personas vinculadas a la investigación agrícola y al fitomejoramiento. Asimismo, será de ayuda a aquellas personas interesadas en conocer un poco más de la riqueza genética que existe en genotipos de maíces criollos y acriollados nicaragüenses, como un legado para las futuras generaciones y de gran valor para la alimentación y la agricultura.

Miguel Obando  
Codirector  
Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria

# AGRADECIMIENTOS

La presente publicación fue elaborada en el marco de la colaboración del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID), a través del programa Mesoamérica sin Hambre AMEXCID-FAO.

Mesoamérica sin Hambre AMEXCID-FAO es una iniciativa conjunta del Gobierno de México, a través de la AMEXCID, la FAO y los Gobiernos de nueve países, entre ellos Nicaragua. El programa trabaja de la mano de autoridades e instituciones gubernamentales en el diseño de políticas públicas en torno a la seguridad alimentaria y nutricional, y la validación e implementación de soluciones innovadoras de desarrollo para garantizar una vida digna para la población más vulnerable.

Se extiende un especial agradecimiento a los productores y productoras que facilitaron las muestras de semillas, tomando en cuenta la importancia de la conservación de los recursos fitogenéticos del país; al personal de las diferentes oficinas del INTA localizadas en las zonas de influencia del programa Mesoamérica sin Hambre AMEXCID-FAO en Nicaragua; a la Universidad Nacional Agraria por el apoyo a través de los estudiantes que fueron tesistas de pregrado en los estudios de caracterización morfológica y análisis molecular; al Dr. Oswalt Jiménez por sus aportes en la revisión del presente documento.; a la Representación de la FAO en Nicaragua (especialmente Iván León y Alfonso Martinuz); y a la AMEXCID por el apoyo brindado para la realización de los experimentos de campo, manejo de germoplasma y publicación de este documento.

## RESUMEN

El presente documento expone los resultados obtenidos de la caracterización morfológica y molecular de 40 accesiones criollas y acriolladas de maíz blanco colectadas en distintas zonas del territorio nacional y conservadas *ex situ* en el Banco Nacional de Germoplasma. Los resultados demuestran una alta diversidad genética nunca antes descrita para este tipo de germoplasma. Esta diversidad se manifiesta en la presencia de 467 alelos diferentes para los 10 loci estudiados, con un promedio de diversidad alélica de 47 alelos por locus.

Los 10 marcadores demostraron ser muy polimórficos, amplificando un rango de 33 a 55 alelos. Se encontraron 112 alelos únicos que fueron detectados por los 10 loci en 22 poblaciones, los cuales demuestran el alto valor de estas poblaciones desde el punto de vista de la conservación y pueden ser considerados el punto de partida para estrategias de selección individual en programas de mejoramiento.

Según datos de polimorfismo, el 58,95 % de la variación genética reside dentro de las poblaciones, destacando así la importancia de los procesos de incrementos de semilla o regeneraciones de las poblaciones en las estrategias de conservación para retener la mayor variabilidad genética presente.

Al agrupar las poblaciones por su origen y diversidad genética, se diferencian tres grandes grupos, el primero conformado por las accesiones de las regiones IV y VI, el segundo grupo conformado por las accesiones de las regiones I, II, V y el tercero conformado por la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS).

# INTRODUCCIÓN

En Nicaragua, el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes para la garantía de la seguridad alimentaria y la economía de las familias, debido a su amplio consumo por parte del 80 % de la población. Según el Banco Central de Nicaragua (2013), en el ciclo agrícola 2012-2013 la producción de maíz representó el 51,8 % del área agrícola, equivalente a 3 270 289 ha. Los departamentos con más área destinada a la siembra de maíz son Jinotega, Matagalpa y Nueva Segovia, con un 47,1 % del total de área sembrada en el país. En conjunto, estas regiones produjeron el 67 % de la producción total (59 472,5 tm), seguidas de los departamentos de Siuna (6,5 %), Estelí (4,7 %) y Chinandega (4 %).

Nicaragua, por ser parte de la región mesoamericana y debido a la alta diversidad genética confirmada, es considerada centro de origen del maíz. Los continuos ciclos de selección realizados empíricamente por los productores basados en caracteres fenotípicos han permitido la obtención de genotipos con mayor superioridad productiva. Sin embargo, esta práctica exitosa de fitomejoramiento va en detrimento de la diversidad genética local, debido al desuso y pérdida de todos aquellos genotipos que no muestran características deseables y útiles para el productor en un determinado momento.

Algo semejante está ocurriendo con las condiciones climáticas actuales, cuya modificación manifestada en la variación de la temperatura, precipitación, salinización de los suelos, entre otros factores, ha incidido negativamente en la adaptación de muchos genotipos de maíz, lo cual representa la mayor de las causas de erosión genética. Por consiguiente, es imprescindible conservar los recursos genéticos para asegurar su utilización actual o futura.

El avance de la biotecnología ha permitido mejorar la eficiencia de los programas de mejoramiento con la combinación de los métodos convencionales, es decir, logrando una mayor precisión en la selección de individuos portadores de caracteres importantes para la industria (por mejor calidad de nutrientes o compuestos químicos como los alcaloides) y la agricultura actual (por tolerancia a estreses bióticos o abióticos) desde etapas tempranas del crecimiento. Adicionalmente, este tipo de estrategias facilitan el conocimiento de los niveles actuales de diversidad y la realización de agrupamientos, permitiendo así tener núcleos de diversidad genética acorde a los objetivos de mejoramiento del INTA. De manera similar, estas estrategias promueven la reutilización de los recursos genéticos resultantes de procesos de selección basada en el fenotipo.

El propósito de este catálogo es presentar información sobre la diversidad genética de 40 accesiones de maíces de grano blanco criollos y acriollados que forman parte de la colección del Banco Nacional de Germoplasma (BNG) y que han sido colectados en diversos puntos del territorio nacional. Esta información servirá como punto de partida para investigaciones en fitomejoramiento a partir de genotipos que han evolucionado mediante las estrategias de conservación *in situ* desarrolladas por productores nicaragüenses.



# METODOLOGÍA

## 1. COLECTA DE MATERIALES GENÉTICOS CRIOLLOS Y ACRIOLLADOS

En el año 2012, se emprendió una serie de expediciones de colecta de germoplasma lideradas por personal técnico del BNG, en conjunto con técnicos de las oficinas regionales del INTA en todo el país. Los planes de colecta se elaboraron con base en el conocimiento de los técnicos y productores de distintas zonas del país y se orientaron principalmente a reunir la mayor diversidad posible de genotipos criollos y acriollados de los cultivos de gran interés económico y alimenticio para las familias productoras.

Las muestras colectadas se sometieron a diversas pruebas de control de calidad, siguiendo la metodología descrita por el INTA (2013), para garantizar la calidad fisiológica y patológica de las muestras recibidas para su ingreso como accesión al BNG.

Todo el material genético colectado es conservado en el BNG, ubicado en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria (CNIA), donde se mantiene en condiciones óptimas controladas de humedad y temperatura para su conservación a mediano plazo, garantizando así una fuente de genes activa para su utilización en programas de mejoramiento genético.

## 2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Para la elaboración de este catálogo se priorizaron las características de mayor relevancia agronómica y productiva. El registro de las variables se basó en la metodología propuesta por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (1993) y el descriptor UPOV (2009).

De la colección de maíces, los genotipos de grano de color blanco ocupan el mayor número de accesiones, por lo que se priorizaron 40 provenientes de distintos departamentos del país (Cuadro 1). Se hizo énfasis en las accesiones con atributos de gran importancia para los productores (precocidad, tolerancia a estrés hídrico, tolerancia a plagas y enfermedades, buen rendimiento y alto potencial de mercado, entre otras) y que, según la información detallada en las fichas de colecta, han sido las razones por las que han mantenido estos genotipos de generación en generación.

El estudio se llevó a cabo en el CNIA en la época de postrera de 2019 y primera de 2020. Por cada accesión se tomaron 30 plantas para el registro de las variables de crecimiento y rendimiento. El manejo de los experimentos se realizó con base en lo recomendado en las guías técnicas del INTA. Además, se implementó para el control de plagas y enfermedades un plan de aplicación de insumos biológicos.



**Cuadro 1. Accesiones de maíces nativos caracterizados morfológica y molecularmente**

| Accesión | Grupo | Nombre local            | Departamento  | Municipio             | Coordenadas       | Productor          | Colector          |
|----------|-------|-------------------------|---------------|-----------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 0038     | 1     | Chinandega              | Estelí        | Condega               | 0575876 - 1481728 | Medardo Centeno    | Mario Olivas      |
| 0041     | 1     | Olote rojo              | Estelí        | Condega               | 0579747 - 1479545 | Jorge Ponce        | Mario Olivas      |
| 0053     | 1     | Maíz bajo               | Estelí        | La Trinidad           | 0578683 - 1439780 | Carmen Centeno     | Julio Molina      |
| 0054     | 1     | Maíz olotillo           | Estelí        | La Trinidad           | 0578683 - 1439780 | Carmen Centeno     | Julio Molina      |
| 0055     | 1     | Olotillo                | Estelí        | La Trinidad           | 0582567 - 1433682 | Ricardo Ortuño     | Julio Molina      |
| 0077     | 4     | Maíz breve              | Chontales     | San Pedro del Lóvago  | 0692273 - 1336049 | Eloy Guevara       | Harold Martínez   |
| 0102     | 5     | Olotillo blanco         | Jinotega      | La Concordia          | 0591326 - 1406461 | Miguel Maldonado   | Oscar Castillo    |
| 0116     | 5     | Olotillo                | Jinotega      | Wiwilí                | 0628733 - 1512480 | Ernesto Castillo   | Oscar Castillo    |
| 0182     | 3     | Criollo olotillo blanco | Granada       | Nandaime              | 0598853 - 1295146 | Mario Guerrero     | Ricardo Bolaños   |
| 0183     | 3     | Maíz hondureño          | Carazo        | La Paz                | 0598887 - 1306879 | Johana Salazar     | Ricardo Bolaños   |
| 0184     | 3     | Criollo olote rosado    | Carazo        | Santa Teresa          | 0593035 - 1302890 | Feliciana López    | Ricardo Bolaños   |
| 0185     | 3     | Maíz criollo rosado     | Carazo        | Santa Teresa          | 0592821 - 1303791 | Terencio Cortes    | Ricardo Bolaños   |
| 0188     | 3     | Maíz olotillo blanco    | Granada       | Nandaime              | 0598065 - 1294269 | Félix Balcodano    | Ricardo Bolaños   |
| 0189     | 3     | Criollo olote rosado    | Carazo        | Santa Teresa          | 0591838 - 1302734 | Wilmer Cerda       | Ricardo Bolaños   |
| 0233     | 1     | Pujagua                 | Nueva Segovia | Macualizo             | 0580387 - 1500316 | Sixto González     | Rafael Cabrera    |
| 0240     | 1     | Maíz de pinol           | Madriz        | Telpaneca             | 0571669 - 1533366 | María Hernández    | Gerald Bellorin   |
| 0335     | 5     | Maquina                 | Jinotega      | San Sebastián de Yalí | 0594672 - 1474245 | Wilmar Zamora      | Oscar Castillo    |
| 0336     | 2     | Agapeño                 | León          | Télica                | 053014-1386074    | Ramón Rojas        | Francisco Fitoria |
| 0337     | 1     | Catacama acriollado     | Estelí        | Condega               | 0557694 - 1473407 | Francisco Loza     | Francisco Fitoria |
| 0338     | 2     | Usulután olote morado   | Chinandega    | Somotillo             | 0517991 - 1455682 | Máximo Degrande    | Francisco Fitoria |
| 0339     | 1     | Quebrachito             | Estelí        | Pueblo Nuevo          | 0500327 - 1475160 | Efrén Alfaro       | Francisco Fitoria |
| 0340     | 5     | Elote colorado          | Matagalpa     | Esquipulas            | 0631782 - 1401651 | Medardo Hernández  | Francisco Fitoria |
| 0341     | 5     | Olotillo blanco         | Matagalpa     | Esquipulas            | 0577937 - 1485300 | Herminio Gutiérrez | Francisco Fitoria |
| 0342     | 5     | Maicillo pujagua        | Matagalpa     | San Isidro            | 0581200 - 1415889 | Rito Roque         | Roger Mendoza     |

|      |   |                    |              |                   |                   |                        |                     |
|------|---|--------------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------|---------------------|
| 0344 | 1 | Olote rosado       | Estelí       | San Juan de Limay | 0546451 - 1462789 | Bayardo López          | Andrea María Zamora |
| 0346 | 1 | Olotillo           | Estelí       | San Juan de Limay | 0541230 - 1450357 | Jader Menezes          | Donald Juárez       |
| 0347 | 1 | Olotillo           | Estelí       | San Juan de Limay | 0544273 - 1454694 | Florencia Pérez        | Donald Juárez       |
| 0348 | 2 | NB6 acriollado     | León         | La Paz Centro     | 0548833 - 1385919 | Silvio Largaespada     | Socorro Espinales   |
| 0351 | 6 | Maíz blanco        | Nueva Guinea | Nueva Guinea      | 0776369 - 1295774 | Sinforoso Velásquez    | Donald Juárez       |
| 0353 | 2 | Viejano cuarenteño | Chinandega   | Somotillo         | 0512174 - 1446965 | Lionsa Hernández       | Adda Caballero      |
| 0355 | 2 | Solutan            | Chinandega   | Cinco Pinos       | 0512478 - 1460583 | Donna Hernández        | Socorro Espinales   |
| 0357 | 3 | Maizón             | Granada      | Nandaime          | 0601261 - 1288746 | Pablo Cruz             | Francisco Fitoria   |
| 0358 | 6 | Rocamel            | Nueva Guinea | Nueva Guinea      | 0785970 - 1295477 | Francisco Aguirre      | Francisco Fitoria   |
| 0359 | 6 | Olotillo           | Nueva Guinea | Nueva Guinea      | 0786130 - 1295390 | Teodoro Flores         | Francisco Fitoria   |
| 0504 | 2 | Elotillo rosado    | Chinandega   | Puerto Morazán    | 0472258 - 1415195 | Emiliano Bobadilla     | Amelia Gutiérrez    |
| 0505 | 2 | Elotillo blanco    | Chinandega   | Puerto Morazán    | 0472258 - 1415195 | Antonio Suazo          | Amelia Gutiérrez    |
| 0511 | 2 | Maicillo blanco    | León         | León              | 0523478 - 1400670 | Rosario Paíz           | Isabel Aburto       |
| 0512 | 2 | Olotillo blanco    | León         | León              | 0523478 - 1400670 | Aurora Uriarte         | Amelia Gutiérrez    |
| 0515 | 2 | Zulatan olote rojo | Chinandega   | Somotillo         | 0517408 - 1440213 | Medardo Escalante      | Isabel Aburto       |
| 0618 | 3 | Olotillo rojo      | Rivas        | Belén             | 613139 - 1275347  | Felix Antonio Espinoza | Nestor Cajina       |

Fuente: elaboración propia.

### 3. CARACTERIZACIÓN MOLECULAR

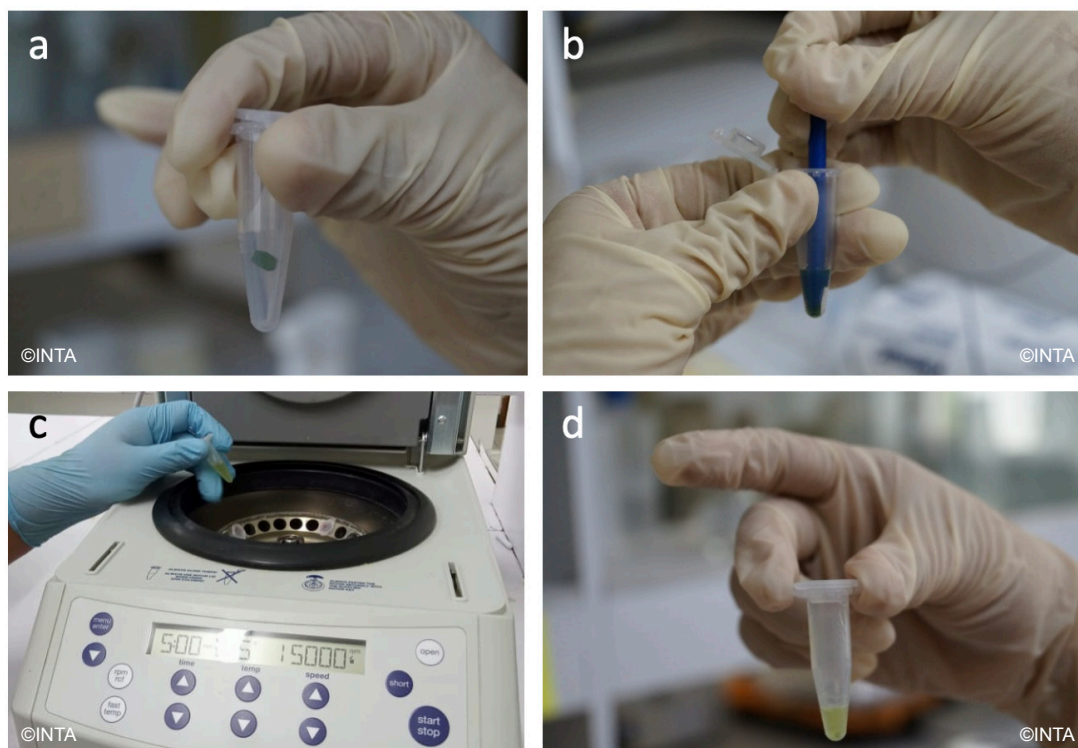
#### 3.1. Extracción de ADN genómico

La extracción de ADN genómico se realizó en el laboratorio de agrobiotecnología del CNIA, empleando una modificación al protocolo planteado por Jiménez (2009) y siguiendo los pasos descritos a continuación y resumidos en la Figura 1:

1. Por cada accesión se tomaron 20 semillas, las cuales se pusieron a germinar en arena estéril. Después del octavo día, se tomó una muestra de tejido vegetal de cada plántula con un peso aproximado de 15 mg.
2. Las muestras de tejido vegetal se pusieron en un tubo estéril tipo Eppendorf (1,5 ml) conteniendo 200  $\mu$ L de buffer de extracción [Tris-HCl (100 mM), EDTA (50 mM), NaCl (500 mM) y 2-mercaptoetanol (20 mM)].

3. El tejido vegetal se maceró utilizando pistilos plásticos, hasta homogenizar las muestras. Posteriormente, se agregaron y mezclaron 26  $\mu\text{L}$  de sulfato dodecil sódico al 10 %. Las muestras de tejido vegetal se colocaron en un incubador tipo baño maría a 65  $^{\circ}\text{C}$  por 10 minutos, mezclándolas al menos tres veces en ese intervalo de tiempo. Posteriormente, se agregaron 112  $\mu\text{L}$  de acetato de potasio (3M) a cada tubo tipo Eppendorf y se incubaron en hielo por 20 minutos.
4. Luego, las muestras se centrifugaron a una velocidad aproximada de 15 000  $\times g$  a 5  $^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos.
5. El sobrenadante se extrajo y se transfirió a un tubo tipo Eppendorf estéril y se agregaron 0,6 volúmenes de 2-propanol helado. Las muestras se conservaron a -24  $^{\circ}\text{C}$  por 20 minutos.
6. En un siguiente paso, las muestras se centrifugaron nuevamente a una velocidad aproximada de 15 000  $\times g$  a 5  $^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos.
7. Luego, se extrajo el 2-propanol y se procedió a lavar el pellet de ADN tres veces usando 100  $\mu\text{L}$  de etanol (70 %) a una velocidad aproximada de 15 000  $\times g$  a 5  $^{\circ}\text{C}$  por cinco minutos.
8. Posteriormente, los pellets de ADN se secaron, se re-disolviaron en 100  $\mu\text{L}$  de buffer TE [conteniendo Tris-HCl (10 mM) pH 8,0 y EDTA (1 mM)] y se conservaron a -24  $^{\circ}\text{C}$  para su posterior utilización.

**Figura 1. Proceso de extracción del ADN genómico**



- a) Muestra de tejido vegetal de plántulas de maíz. b) Maceración de muestras de tejido en buffer de extracción. c) Centrifugación de las muestras de tejido para separar el ADN de las proteínas y lípidos. d) Sobrenadante obtenido de las muestras precipitadas

### 3. 2. Análisis con marcadores microsatélites

Para la caracterización molecular de los genotipos sometidos a estudio, se seleccionaron 10 marcadores tipo microsatélites (SSR) codificados como BNLG 127, BNLG 400, PHI 119, PHI 057, BNLG 197, NC 013, PHI 063, PHI 112, PHI 96100, BNLG 1272 (Morales, 2002; Phumichai *et al.*, 2008; Zhi-Zhai *et al.*, 2010; Sharma *et al.*, 2010). La selección de esos marcadores se basó en el alto polimorfismo reportado en la referencia de origen y su dispersión en diferentes grupos de ligamiento en el genoma del maíz.

Cada una de las reacciones PCR y las lecturas de electroforesis se realizó al menos dos veces por cada accesión. Las reacciones PCR se llevaron a cabo en volúmenes de 20  $\mu$ L. Primero, para cada muestra se preparó una mezcla de los siguientes compuestos: 12  $\mu$ L de agua libre de nucleasas, 2  $\mu$ L de 10X buffer, 0,4  $\mu$ L de dNTPs (mezcla de nucleótidos, 10 mM de cada uno), 2  $\mu$ L de cada primer o marcador (*forward* y *reverse*), y finalmente 0,6  $\mu$ L de ADN polimerasa (2 U/ $\mu$ L). Luego, a la mezcla anterior se agregó 1  $\mu$ L de ADN genómico (20-40 ng/ $\mu$ L). Las reacciones de amplificación se realizaron en un termociclador tipo Eppendorf. Los programas de amplificación para cada marcador fueron similares a los recomendados en la literatura de origen. Una vez obtenidos los productos PCR, se corrieron en gel de agarosa (TBE 1 %) y tiñeron con bromuro de etidio (0,450 mg/ml). La visualización y cuantificación de los fragmentos de ADN se realizó a través de un sistema transiluminador ultravioleta utilizando como referencia una regla molecular con fragmentos de 50-1 000 pares de bases.

### 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se calculó el número de alelos totales por cada población y de alelos únicos, el número de loci polimórficos y el promedio de alelos para cada locus polimórfico, usando el programa Arlequin version 3.5.2.2 (Excoffier y Lischer, 2015). Se construyó también la matriz de presencia y ausencia de cada alelo en cada locus. Luego, las accesiones se agruparon de acuerdo a las regiones del país donde fueron colectadas, resultando seis grupos:

- grupo 1: región I, conformado por Estelí, Madriz y Nueva Segovia;
- grupo 2: región 2, conformado por León y Chinandega;
- grupo 3: región IV, conformado por Granada, Carazo y Rivas;
- grupo 4: región V, conformado por Chontales;
- grupo 5: región VI, conformado por Matagalpa y Jinotega, y
- grupo 6: RACCS, conformado por Nueva Guinea.

Este agrupamiento se realizó con el propósito de determinar posibles diferencias genéticas entre accesiones provenientes de diferentes zonas agroecológicas. Las distancias genéticas se calcularon utilizando el método propuesto por Rogers (1972). El árbol filogenético para los diferentes grupos se construyó a partir de las distancias genéticas, utilizando el método de agrupamiento jerárquico Neighbor-Joining para lo cual se empleó el programa MEGA versión 11 (Tamura *et al.*, 2021).

# RESULTADOS

## 1. DIVERSIDAD GENÉTICA

Los genotipos estudiados para la presente publicación son parte de los recursos fitogenéticos nativos (criollos y acriollados) del país, colectados en fincas de productores y que actualmente forman parte de la colección activa del BNG. La selección de estos ha podido garantizarse a partir de resultados de estudios previos de caracterizaciones morfológicas en los que se utilizaron variedades mejoradas como comparadores, así como los descriptores dictados por la UPOV (2009).

En general todos los marcadores produjeron fragmentos de ADN luego de ser optimizados en diferentes programas. La amplificación por PCR se llevó a cabo como mínimo dos veces, con el objetivo de verificar la información molecular generada para cada accesión.

En este estudio fueron comparados 600 individuos correspondientes a 40 accesiones de maíz criollo y acriollado, utilizando 10 marcadores moleculares microsatélites, los cuales identificaron 467 alelos diferentes para los 10 locus estudiados. La diversidad alélica promedio por accesión fue de 47 alelos por locus. Los 10 marcadores demostraron ser polimórficos, amplificando un rango de 33 a 55 alelos para los 10 cromosomas de esta especie.

El marcador PHI96100 resultó ser el más polimórfico, amplificando 55 alelos, seguido de los marcadores PHI063, NC013 y BNLG127 con 54, 53 y 50 alelos, respectivamente. En contraste, el PHI112 fue el que menos alelos logró amplificar, alcanzando un total de 33 alelos (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Diversidad alélica en 40 accesiones criollas y acriolladas de maíz colectadas en Nicaragua y conservadas en el Banco Nacional de Germoplasma**

| Locus    | Ubicación genómica* | Rango alélico (pb) | Número de alelos totales |
|----------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| BNLG1272 | 9,00                | 90-300             | 46                       |
| BNLG127  | 9,03                | 204-330            | 50                       |
| BNLG400  | 1,09                | 86-226             | 39                       |
| BNLG197  | 3,07                | 88-250             | 47                       |
| NC013    | 6,05                | 86-210             | 53                       |
| PHI063   | 10,02               | 124-322            | 54                       |
| PHI112   | 7,01                | 142-210            | 33                       |
| PHI96100 | 2,01                | 192-398            | 55                       |

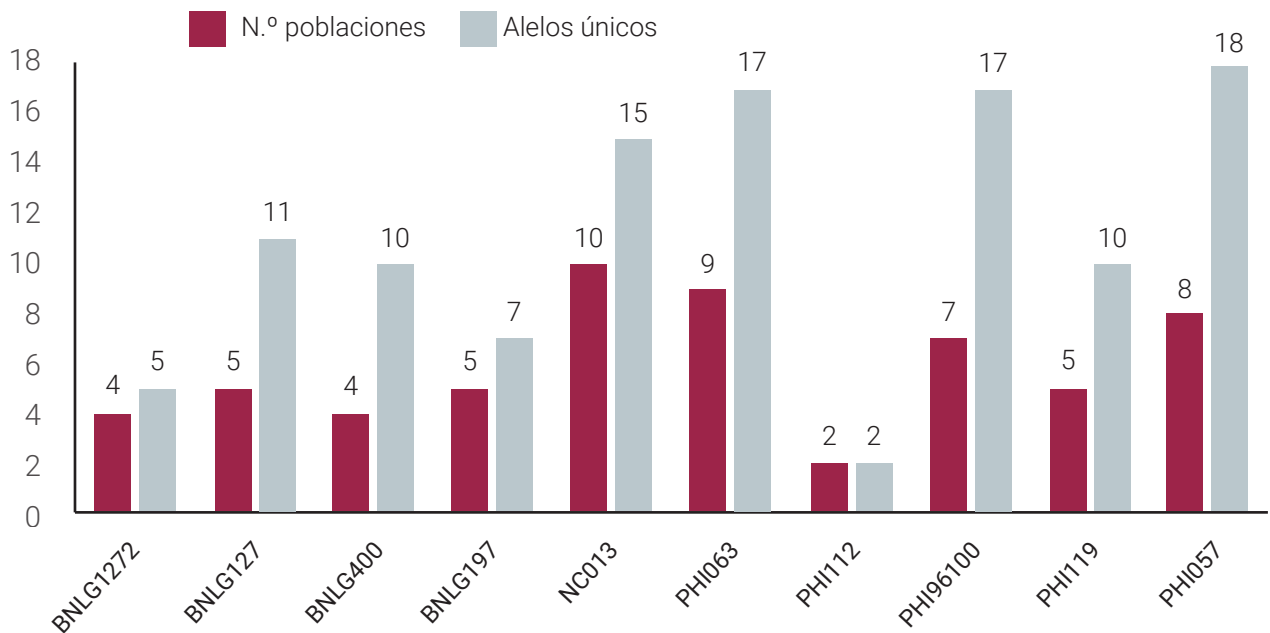
**Cuadro 2. (Continuación)**

| Locus               | Ubicación genómica* | Rango alélico (pb) | Número de alelos totales |
|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| PHI119              | 8,02                | 138-242            | 41                       |
| PHI057              | 7,01                | 100-228            | 49                       |
| Media               | ---                 | ---                | 47                       |
| Desviación estándar | ---                 | ---                | 9                        |

\*Ubicación genómica según Zhi-zhai *et al.* (2010), Morales (2002) y Sharma *et al.* (2010). Brookhaven National Laboratory of Genetic (BNLG), North Carolina (NC) y Pioneer High Bred (PHI).

Fuente: elaboración propia.

Se encontraron 112 alelos únicos que fueron detectados en los 10 loci. Según los resultados, los loci más diversos en cuanto a alelos únicos fueron siete de los 10 analizados. El PHI057 fue el locus de mayor diversidad alélica única, mientras que el PHI112 presentó el menor número de alelos únicos, correspondiente a dos alelos (Figura 2).

**Figura 2. Presencia de alelos únicos en 40 accesiones criollas y acriolladas de maíz blanco conservadas en el Banco Nacional de Germoplasma**

Fuente: elaboración propia.

El análisis molecular de variancia (AMOVA) indicó que el 58,95 % de la variación genética según datos de polimorfismo reside dentro de las poblaciones, mientras el 41,05 % se encuentra entre ellas.

Asimismo, se confirmó que es improbable que la significancia genética encontrada entre y dentro de las poblaciones sea atribuida al azar, debido a que la probabilidad calculada fue menor del 5 %, resaltando así la significancia del  $F_{ST}$  obtenido (Cuadro 3).

Este resultado dicta un objetivo claro para la conservación *ex situ* de los recursos genéticos de maíz de Nicaragua, resaltando así la importancia de incrementar las cantidades de semilla de buena calidad de las accesiones para retener la variabilidad genética presente internamente en cada genotipo y que probablemente se encuentra en frecuencias muy bajas, mejorando así las estrategias de selección comprendidas en los programas de mejoramiento que se retomem a partir de este estudio.

**Cuadro 3. Análisis molecular de variancia de 40 accesiones criollas y acriolladas de maíz blanco conservadas en el Banco Nacional de Germoplasma**

| Fuente de variación       | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Componentes de la variancia | Porcentaje de variación | p-valor |
|---------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|---------|
| Entre poblaciones         | 39                 | 686,093           | 0,55962 Va                  | 41,05                   | 0,00000 |
| Dentro de las poblaciones | 1 160              | 932,100           | 0,80353 Vb                  | 58,95                   |         |
| Total                     | 1 199              | 1 618,193         | 1,36315                     |                         |         |
| $F_{ST}$ : 0,41053        |                    |                   |                             |                         |         |

Probabilidad de significancia al 5 % ( $P \leq 0,05$ )

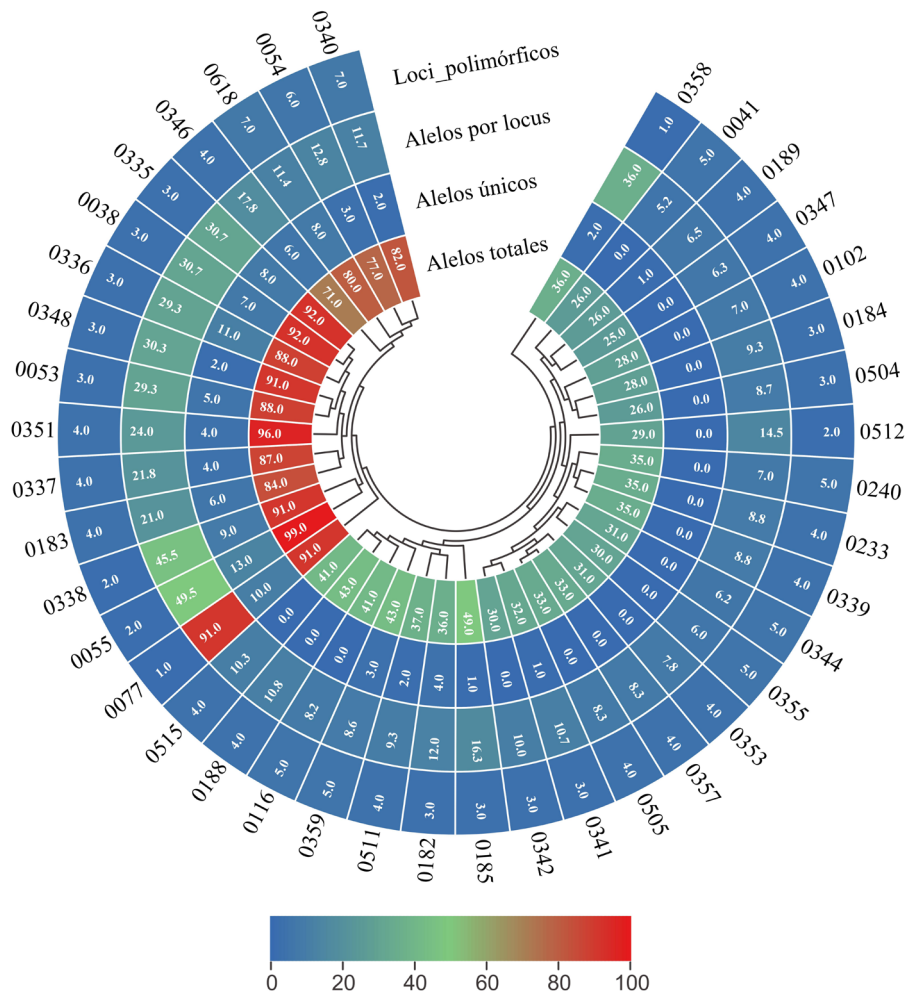
Fuente: elaboración propia.

En la figura 3 se presenta un resumen de la información alélica resultante del análisis molecular de 40 accesiones de maíz criollo y acriollado, donde se aprecia que la mayor diversidad alélica se encuentra contenida en las accesiones que conforman el grupo 1, con el 32,64 %; seguido por el grupo 2 con 23,14 %, el grupo 3 con 17,63 %, el grupo 5 con 14,20 %, el grupo 6 con 8,15 % y finalmente el grupo 4 con 4,24 %.

Se encontraron además 112 alelos únicos detectados en 22 poblaciones. Según los grupos formados de acuerdo al sitio de colecta, las accesiones que más alelos únicos presentaron fueron las del grupo 1 con 38 alelos únicos, conformado por 12 accesiones, y las del grupo 2 constituido por nueve accesiones que poseen entre ellas 24 alelos únicos.



**Figura 3. Diversidad alélica en 40 accesiones criollas y acriolladas de maíz blanco conservadas en el Banco Nacional de Germoplasma**



Fuente: elaboración propia.



## 2. RELACIONES FILOGENÉTICAS ENTRE GRUPOS DE ACCESIONES

Según este estudio, se agruparon las accesiones de acuerdo al origen detallado en la información de pasaporte del BNG. Como resultado, se obtuvieron seis grupos para conocer su grado de relación genética (Cuadro 4). Las distancias genéticas entre cada uno de los grupos propuestos variaron de 0,3230 a 0,4670.

**Cuadro 4. Diversidad alélica en 40 accesiones criollas y acriolladas de maíz blanco conservadas en el Banco Nacional de Germoplasma**

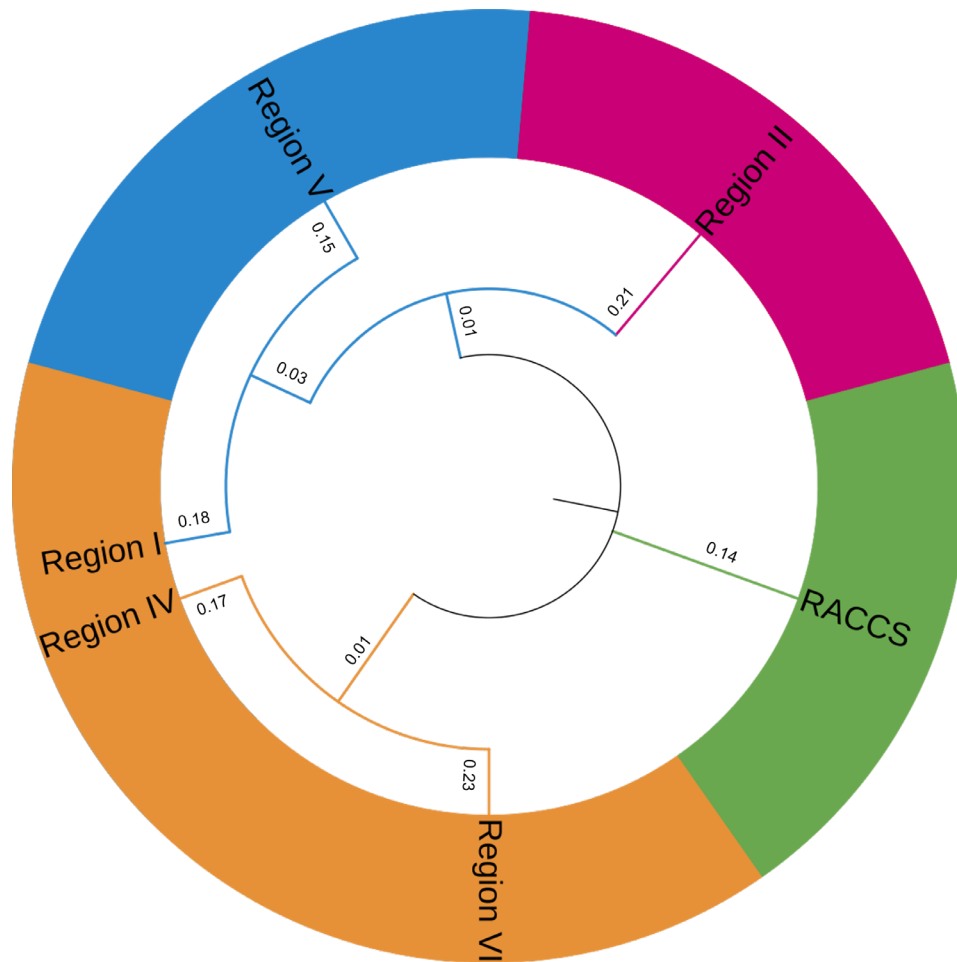
| Grupos | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| 1      | -     |       |       |       |       |   |
| 2      | 0,424 | -     |       |       |       |   |
| 3      | 0,406 | 0,401 | -     |       |       |   |
| 4      | 0,331 | 0,390 | 0,379 | -     |       |   |
| 5      | 0,464 | 0,467 | 0,391 | 0,418 | -     |   |
| 6      | 0,373 | 0,349 | 0,323 | 0,330 | 0,388 | - |

Fuente: elaboración propia.

El árbol filogenético derivado de las distancias genéticas entre los grupos se muestra en la Figura 4. Se diferencian tres grandes grupos, el primero conformado por las accesiones de las regiones IV y VI, el segundo grupo conformado por las accesiones de las regiones I, II y V y un tercer grupo conformado por la accesión de la RACCS. Como parte del segundo grupo existen dos subgrupos, el primero conformado por las regiones I y V, mientras el segundo comprende las accesiones de la región II.

En las regiones que coinciden genéticamente en un grupo, es probable que exista un flujo de semillas entre productores de diferentes regiones, lo que explica estas tendencias. Por otro lado, es posible asumir que las accesiones de la región II se originaron de las poblaciones I y V, y su dispersión entre los productores se ha mantenido focalizada en esos nichos de producción.

Figura 4. Árbol filogenético obtenido a través del método Neighbor-Joining mostrando las relaciones genéticas entre los seis grupos analizados de accesiones criollas y acriolladas de maíz conservadas en el Banco Nacional de Germoplasma



Fuente: elaboración propia.

# DESCRIPCIÓN DE MATERIALES CRIOLLOS Y ACRIOLLADOS DE MAÍZ

## Accesión 0038

### Información general

Origen: Condega, Estelí, Nicaragua  
 Coordenadas: 0575876-1481728  
 Altura: 766 msnm  
 Grupo: 1  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 3



### Características morfológicas

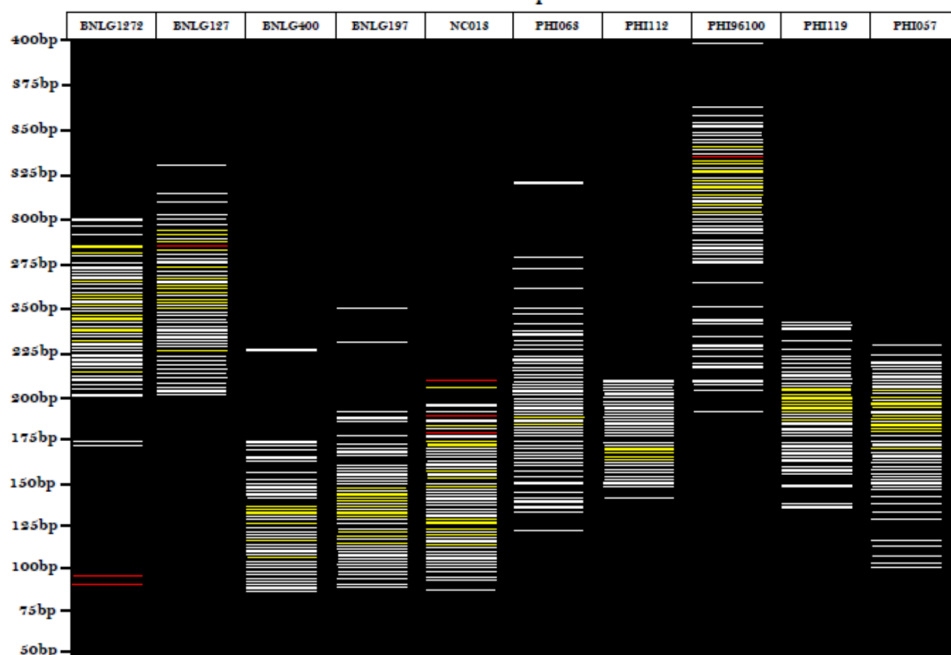
Altura de la planta: 215 cm  
 Textura de la semilla: semicristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 37,12 g  
 Días a floración masculina: 55  
 Días a floración femenina: 56

### Características moleculares

Número total de alelos: 92  
 Alelos por locus: 30,7  
 Número de alelos únicos: 7  
 Loci polimórficos: 3

### Características de interés según el productor

Es muy apreciado por los agricultores debido a su rendimiento (aproximadamente 2 582,36 kg/ha). Asimismo, aseguran que está adaptado a la zona y tiene buen sabor en elote y güirila.









## Accesión 0055

### Información general

Origen: La Trinidad, Estelí, Nicaragua  
 Coordenadas: 0582567-1433682  
 Altura: 610 msnm  
 Grupo: 1  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 50



### Características morfológicas

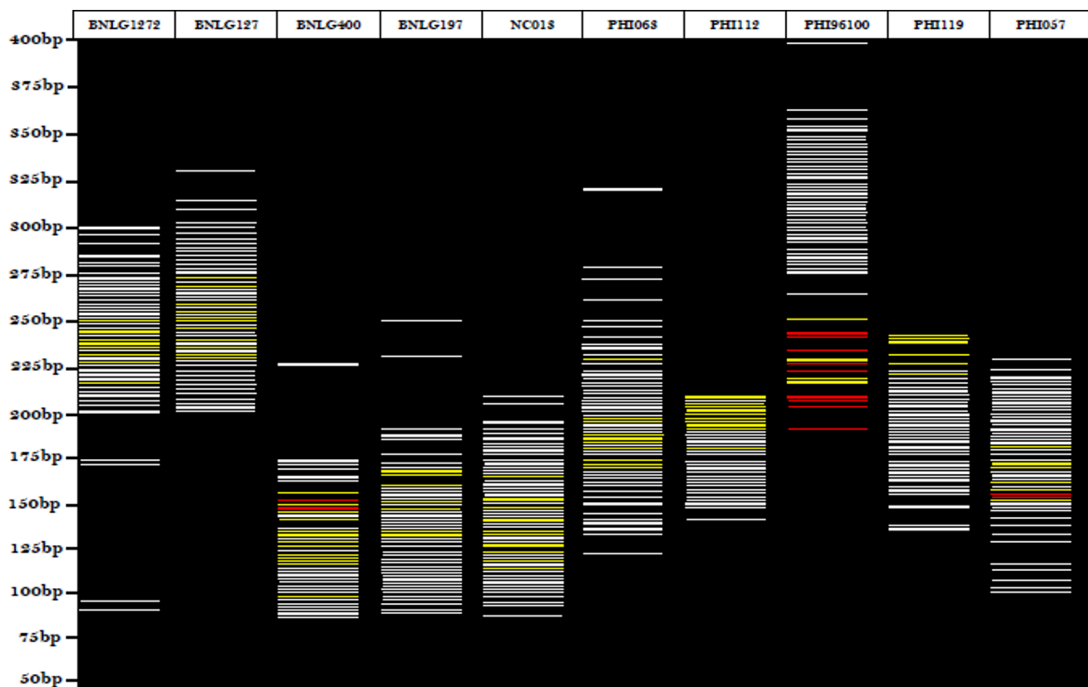
Altura de la planta: 232 cm  
 Textura de la semilla: harinosa  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 33,31 g  
 Días a floración masculina: 44  
 Días a floración femenina: 45

### Características moleculares

Número total de alelos: 99  
 Alelos por locus: 49,5  
 Número de alelos únicos: 13  
 Loci polimórficos: 2

### Características de interés según el productor

Es preferido por ser precoz y tiene buena demanda en el mercado para la elaboración de pinol y chicha. Rendimiento aproximado de 1 613,98 kg/ha.





## Accesión 0077

### Información general

Origen: San Pedro del Lóvago, Chontales,  
Nicaragua  
Coordenadas: 0692273-1336049  
Altura: 379 msnm  
Grupo: 4  
Tipo de material: criollo  
Años de uso: 50



### Características morfológicas

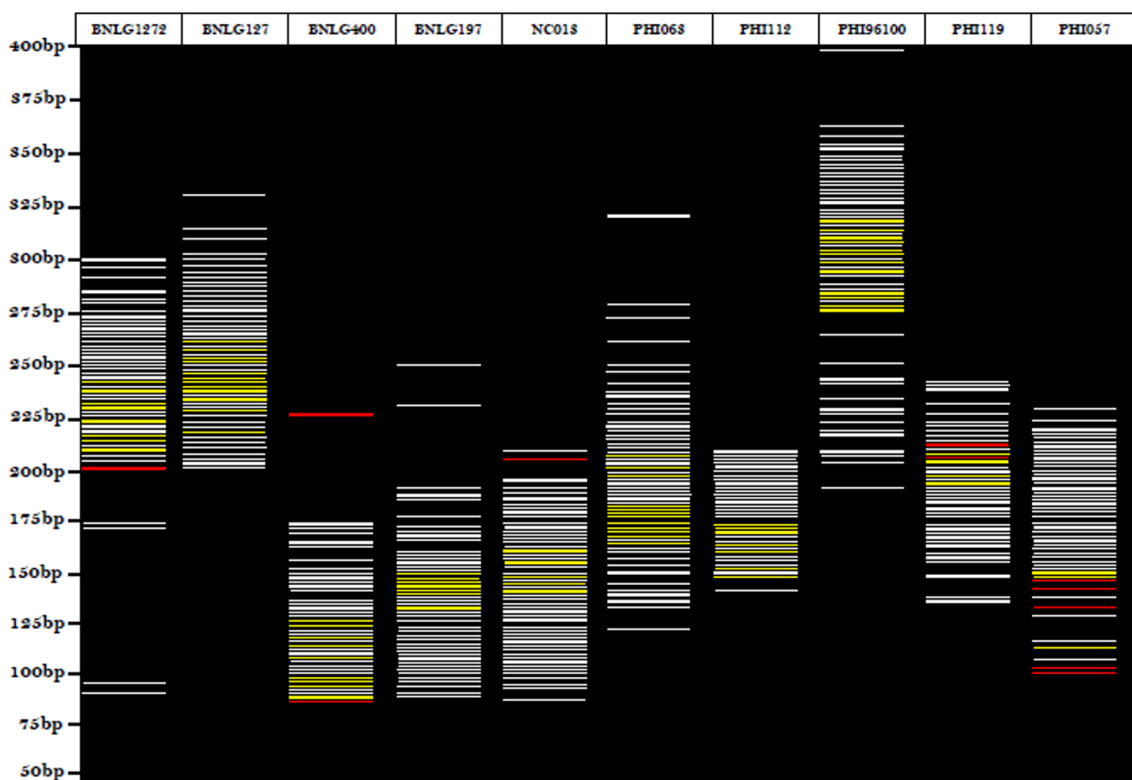
Altura de la planta: 268,5 cm  
Textura de la semilla: harinosa  
Número de mazorcas por planta: 1  
Peso de 100 semillas: 40,44 g  
Días a floración masculina: 53  
Días a floración femenina: 53

### Características moleculares

Número total de alelos: 91  
Alelos por locus: 91  
Número de alelos únicos: 10  
Loci polimórficos: 1

### Características de interés según el productor

Es preferido por tener una buena cobertura de mazorca, ser de ciclo corto, y por tener un grano grande y un rendimiento aproximado de 2 582,36 kg/ha.





## Accesión 0102

### Información general

Origen: Condega, Estelí, Nicaragua  
 Coordenadas: 0591326-1406461  
 Altura: 900 msnm  
 Grupo: 5  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 25



### Características morfológicas

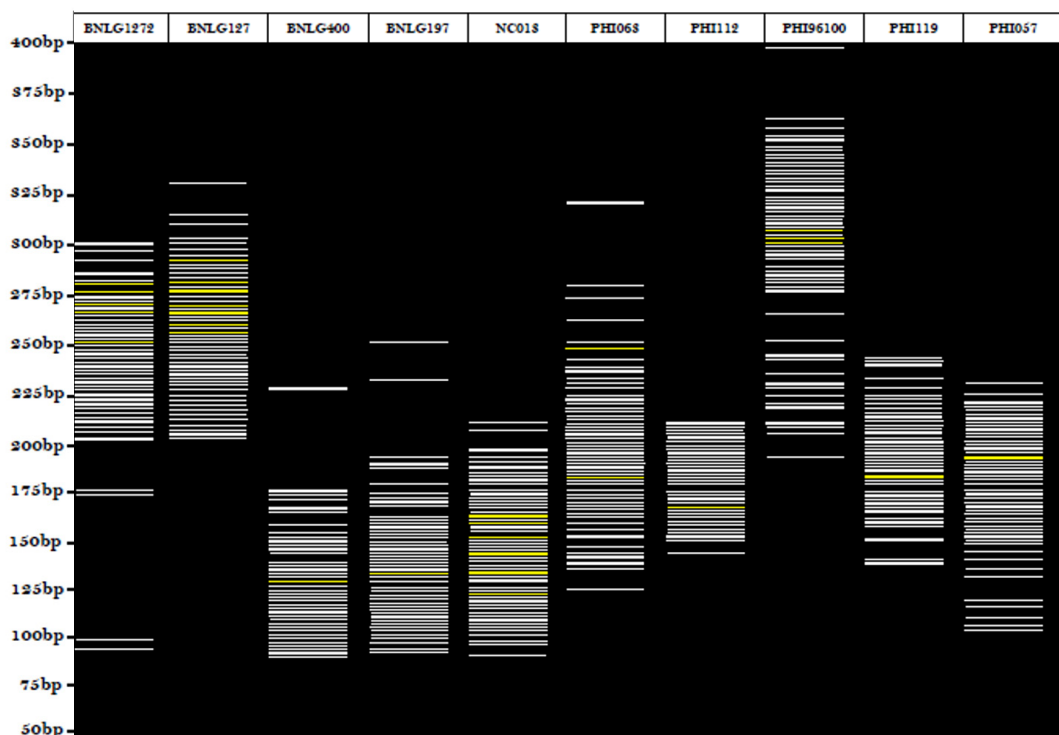
Altura de la planta: 234 cm  
 Textura de la semilla: semicristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 30,31 g  
 Días a floración masculina: 53  
 Días a floración femenina: 54

### Características moleculares

Número total de alelos: 28  
 Alelos por locus: 7  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Es apreciado por su adaptación a las condiciones de la zona. Rendimiento aproximado de 1 291 kg/ha.



## Accesión 0116

### Información general

Origen: Wiwilí, Jinotega, Nicaragua  
 Coordenadas: 0628733-1512480  
 Altura: 290 msnm  
 Grupo: 5  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 3



### Características morfológicas

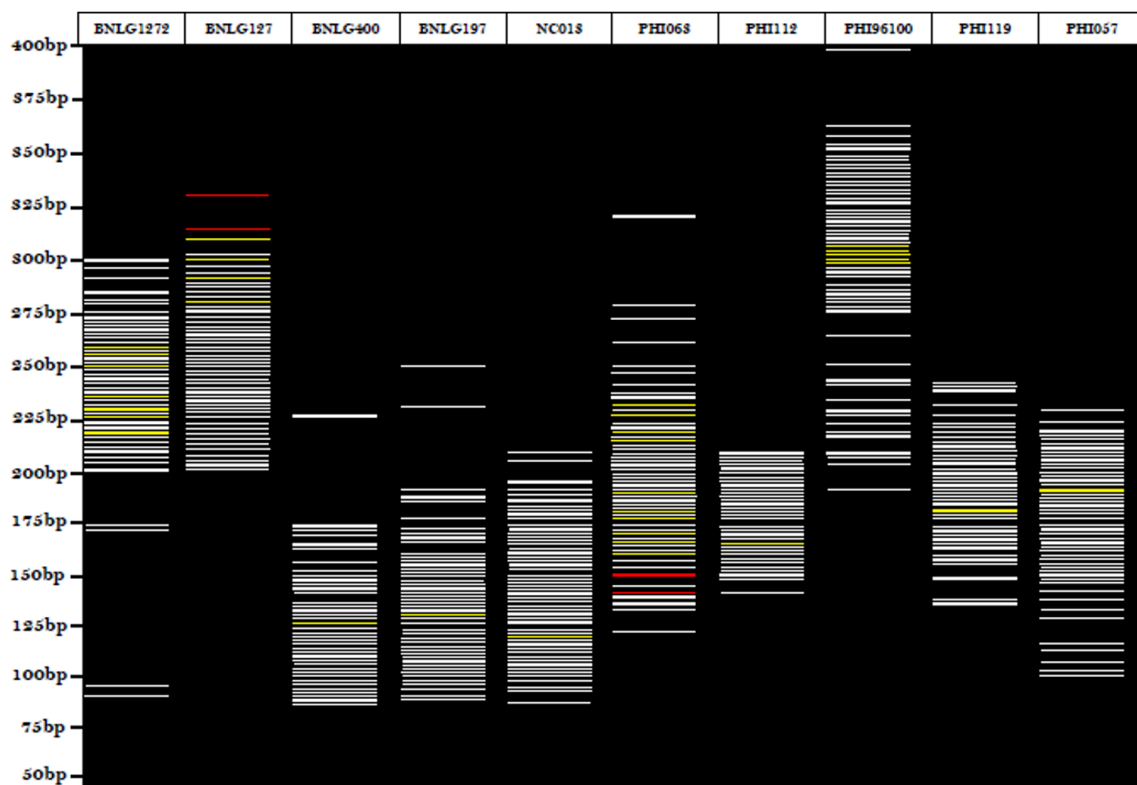
Altura de la planta: 256 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 26,62 g  
 Días a floración masculina: 65  
 Días a floración femenina: 69

### Características moleculares

Número total de alelos: 41  
 Alelos por locus: 8,2  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 5

### Características de interés según el productor

Es apreciado por su adaptación a las condiciones de la zona. Rendimiento aproximado de 2 582 kg/ha.





### Accesión 0183

#### Información general

Origen: La Paz, Carazo, Nicaragua  
 Coordenadas: 0598887-1306879  
 Altura: 422 msnm  
 Grupo: 3  
 Tipo de material: acriollado  
 Años de uso: 4



#### Características morfológicas

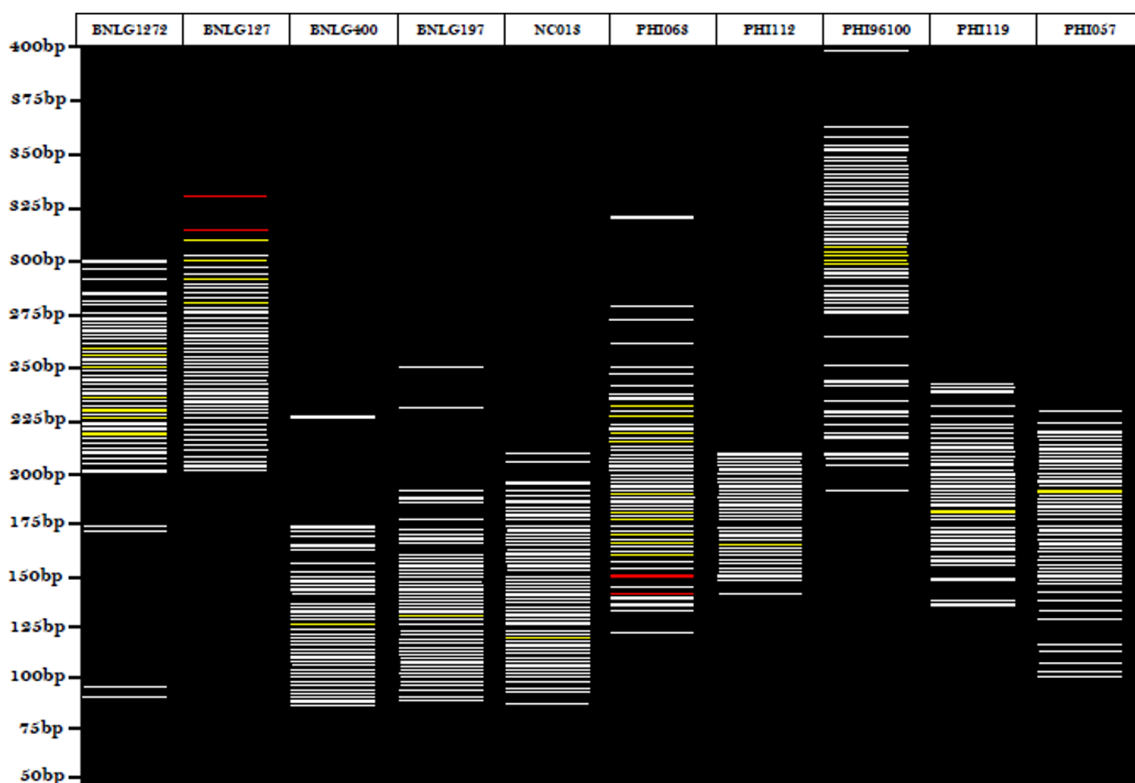
Altura de la planta: 236,6 cm  
 Textura de la semilla: harinosa  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 29,81 g  
 Días a floración masculina: 47  
 Días a floración femenina: 47

#### Características moleculares

Número total de alelos: 84  
 Alelos por locus: 21  
 Número de alelos únicos: 6  
 Loci polimórficos: 4

#### Características de interés según el productor

Es apreciado por tener ciclo corto, planta con porte alto ideal para forraje, mazorca grande y por ser preferido en el mercado por poseer un sabor dulce. Rendimiento aproximado de 3 227,95 kg/ha.



## Accesión 0184

### Información general

Origen: Santa Teresa, Carazo, Nicaragua  
 Coordenadas: 0593035-1302890  
 Altura: 348 msnm  
 Grupo: 3  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 10



### Características morfológicas

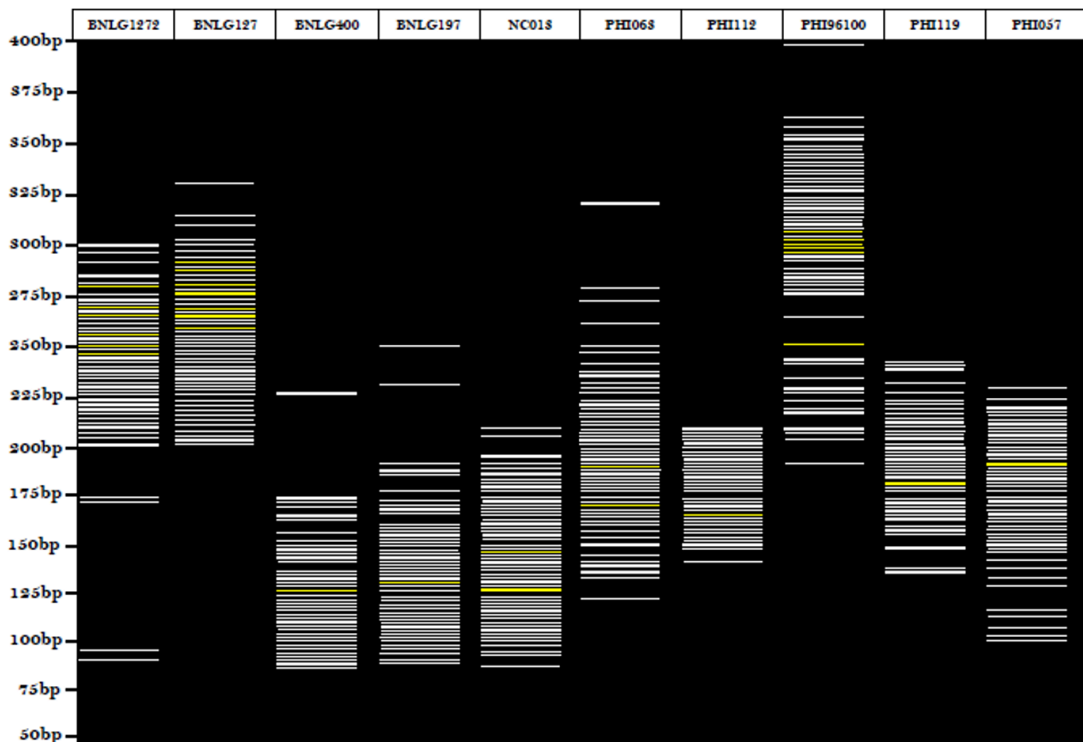
Altura de la planta: 206 cm  
 Textura de la semilla: semicristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 29,75 g  
 Días a floración masculina: 53  
 Días a floración femenina: 54

### Características moleculares

Número total de alelos: 28  
 Alelos por locus: 9,3  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 3

### Características de interés según el productor

Es preferido por su buena producción de chilote. Rendimiento aproximado de 1 291 kg/ha.



## Accesión 0185

### Información general

Origen: Santa Teresa, Carazo, Nicaragua  
 Coordenadas: 0592821-1303791  
 Altura: 362 msnm  
 Grupo: 3  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 8



### Características morfológicas

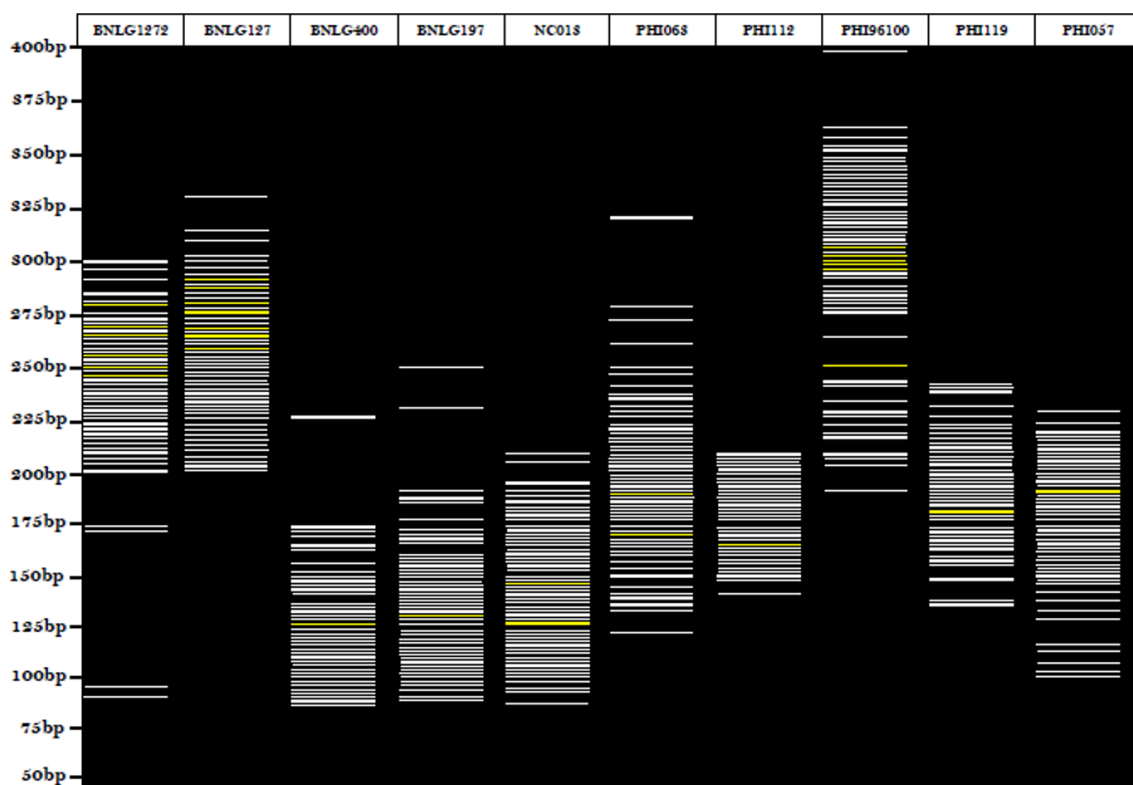
Altura de la planta: 226 cm  
 Textura de la semilla: semicristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 34,18 g  
 Días a floración masculina: 54  
 Días a floración femenina: 54

### Características moleculares

Número total de alelos: 49  
 Alelos por locus: 16,3  
 Número de alelos únicos: 1  
 Loci polimórficos: 3

### Características de interés según el productor

Es preferido por ser tolerante al daño por gorgojo. Rendimiento aproximado de 2 905 kg/ha.





## Accesión 0188

### Información general

Origen: Nandaime, Granada, Nicaragua  
 Coordenadas: 0598065-1294269  
 Altura: 151 msnm  
 Grupo: 3  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 25



### Características morfológicas

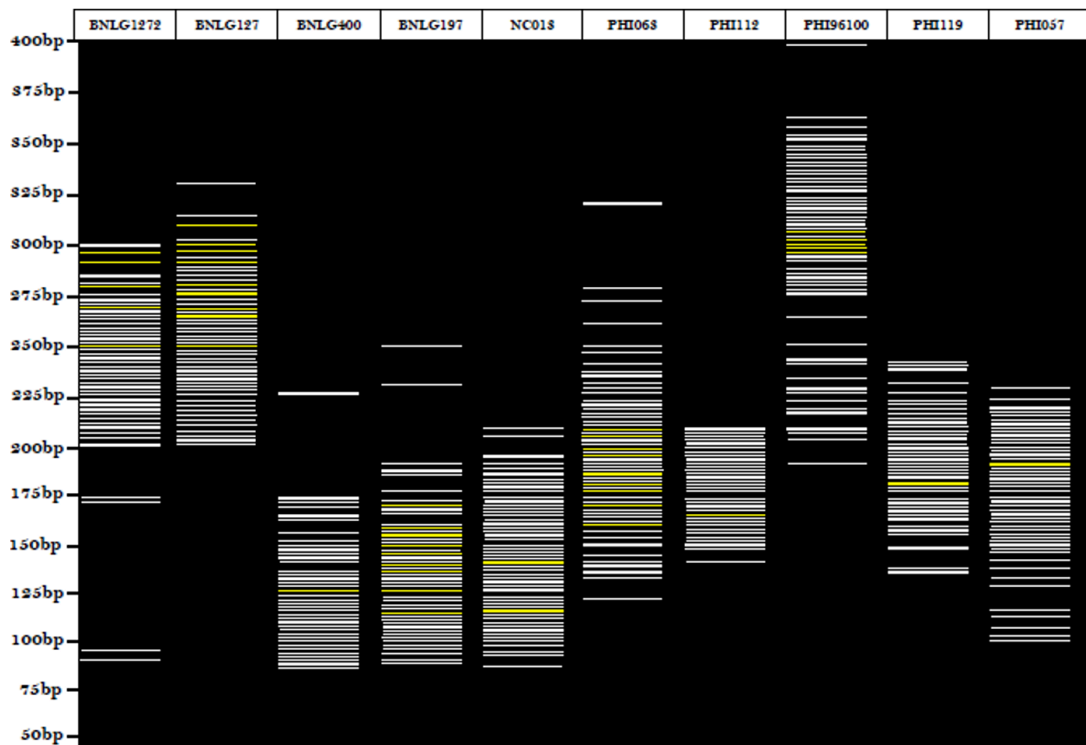
Altura de la planta: 243 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 29,21 g  
 Días a floración masculina: 54  
 Días a floración femenina: 54

### Características moleculares

Número total de alelos: 43  
 Alelos por locus: 10,8  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Es apreciado por tener buena cobertura de mazorca, plantas con porte ideal para forraje. Rendimiento aproximado de 2 905 kg/ha.



## Accesión 0189

### Información general

Origen: Santa Teresa, Carazo, Nicaragua  
 Coordenadas: 591838-1302734  
 Altura: 352 msnm  
 Grupo: 3  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 5



### Características morfológicas

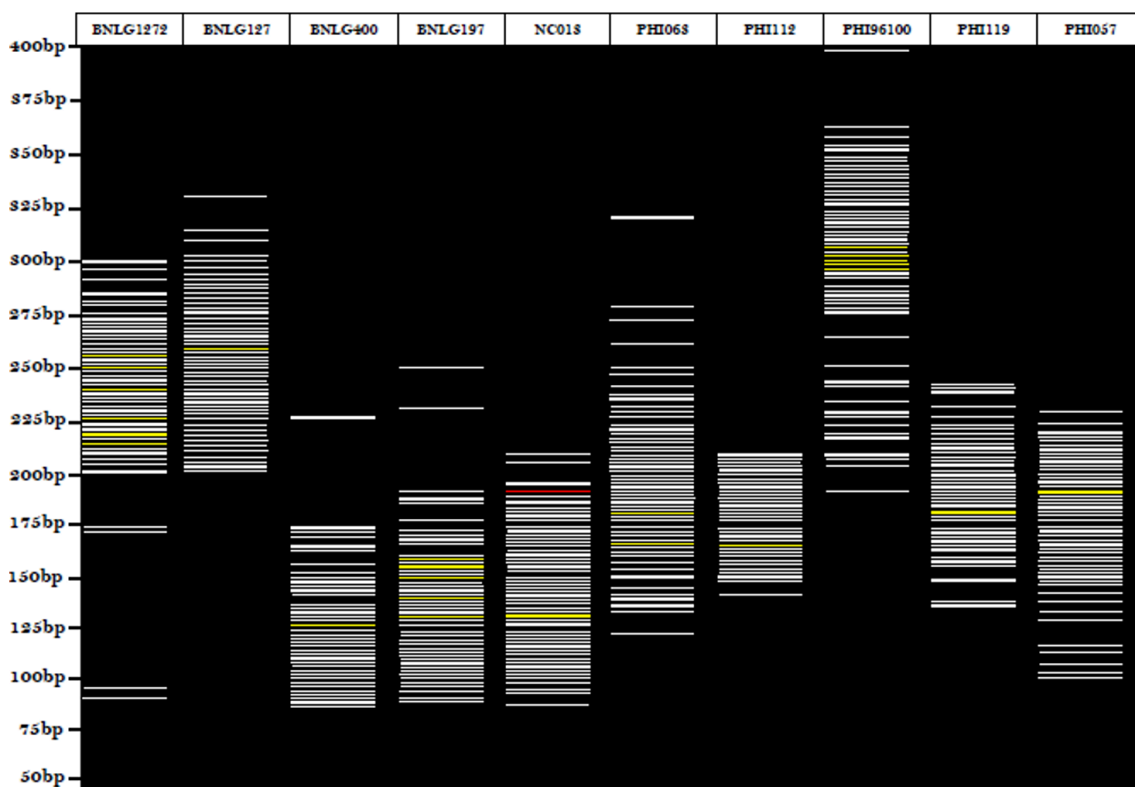
Altura de la planta: 202 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 33,81 g  
 Días a floración masculina: 48  
 Días a floración femenina: 49

### Características moleculares

Número total de alelos: 26  
 Alelos por locus: 6,5  
 Número de alelos únicos: 1  
 Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Es preferido por ser precoz y por tener buen sabor en el elote. Rendimiento aproximado de 1 936 kg/ha.





## Accesión 0233

### Información general

Origen: Macuelizo, Nueva Segovia, Nicaragua  
 Coordenadas: 580387-1500316  
 Altura: 770 msnm  
 Grupo: 1  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 12



### Características morfológicas

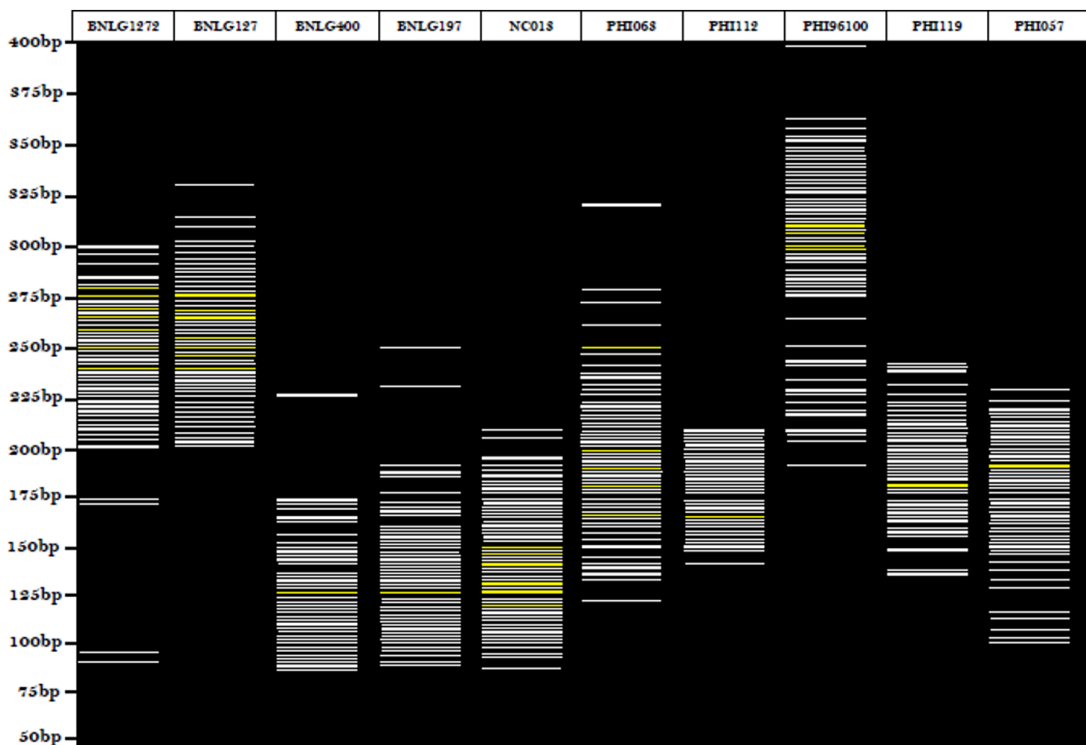
Altura de la planta: 267 cm  
 Textura de la semilla: harinosa  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 41,06 g  
 Días a floración masculina: 53  
 Días a floración femenina: 55

### Características moleculares

Número total de alelos: 35  
 Alelos por locus: 8,8  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Es apreciado por la alta demanda en el mercado para la elaboración de pinol. Rendimiento aproximado de 2 905 kg/ha.





## Accesión 0335

### Información general

Origen: San Sebastián de Yalí, Jinotega,  
Nicaragua

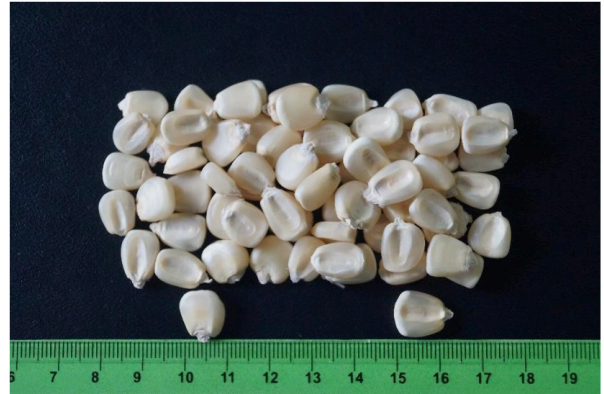
Coordenadas: 0594672-1474245

Altura: 726 msnm

Grupo: 5

Tipo de material: criollo

Años de uso: 10



### Características morfológicas

Altura de la planta: 246 cm

Textura de la semilla: cristalina

Número de mazorcas por planta: 1

Peso de 100 semillas: 39,125 g

Días a floración masculina: 61

Días a floración femenina: 63

### Características moleculares

Número total de alelos: 92

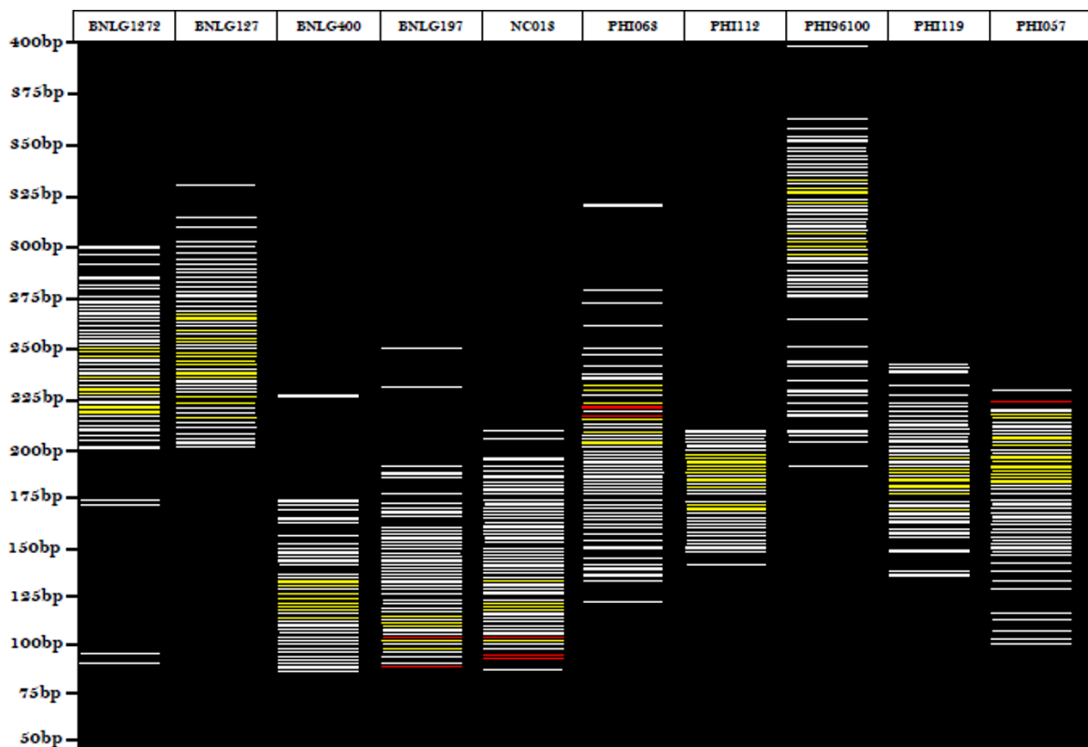
Alelos por locus: 30,7

Número de alelos únicos: 8

Loci polimórficos: 3

### Características de interés según el productor

Es preferido por ser tolerante a la mancha de asfalto. Planta de porte alto ideal para forraje. Rendimiento aproximado de 2 582 kg/ha.



## Accesión 0336

### Información general

Origen: Télica, León, Nicaragua  
 Coordenadas: 0530014-1386074  
 Altura: 241  
 Grupo: 2  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 10



### Características morfológicas

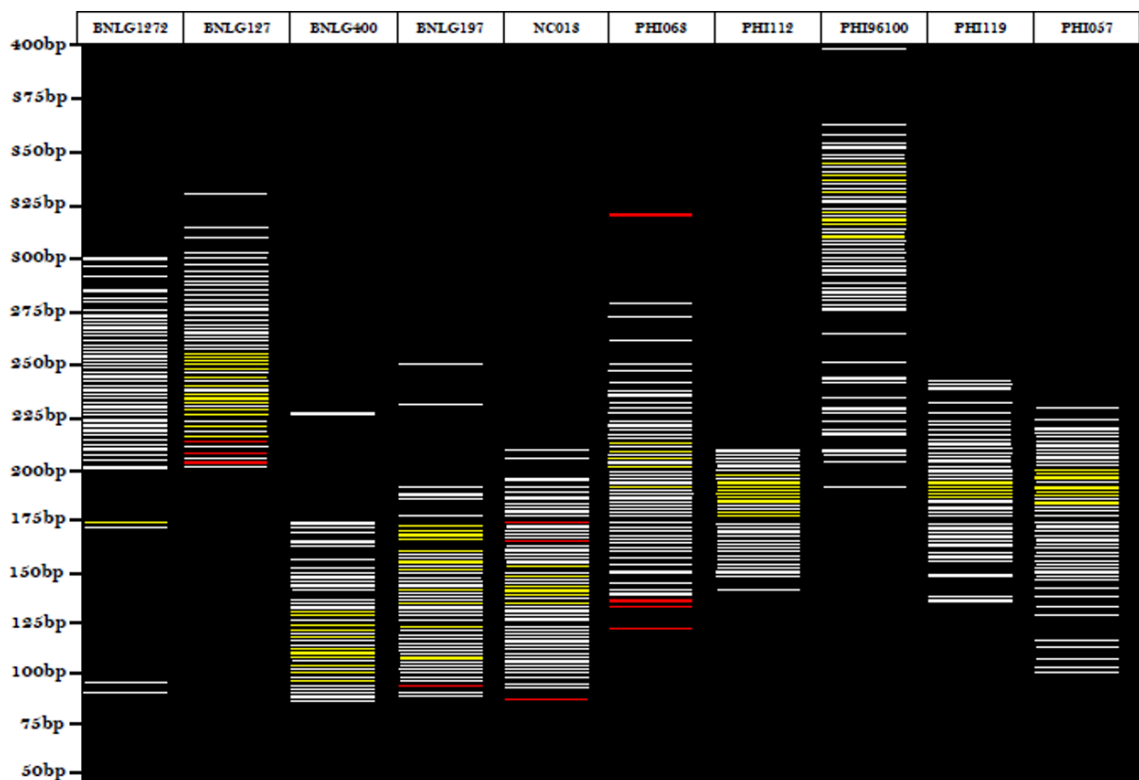
Altura de la planta: 260 cm  
 Textura de la semilla: harinosa  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 27,81 g  
 Días a floración masculina: 58  
 Días a floración femenina: 60

### Características moleculares

Número total de alelos: 88  
 Alelos por locus: 29,3  
 Número de alelos únicos: 11  
 Loci polimórficos: 3

### Características de interés según el productor

Es preferido por ser tolerante a plagas. Rendimiento aproximado de 2 582 kg/ha.



### Accesión 0337

#### Información general

Origen: Condega, Estelí, Nicaragua  
 Coordenadas: 0557694-1473407  
 Altura: 828 msnm  
 Grupo: 1  
 Tipo de material: acriollado  
 Años de uso: 10



#### Características morfológicas

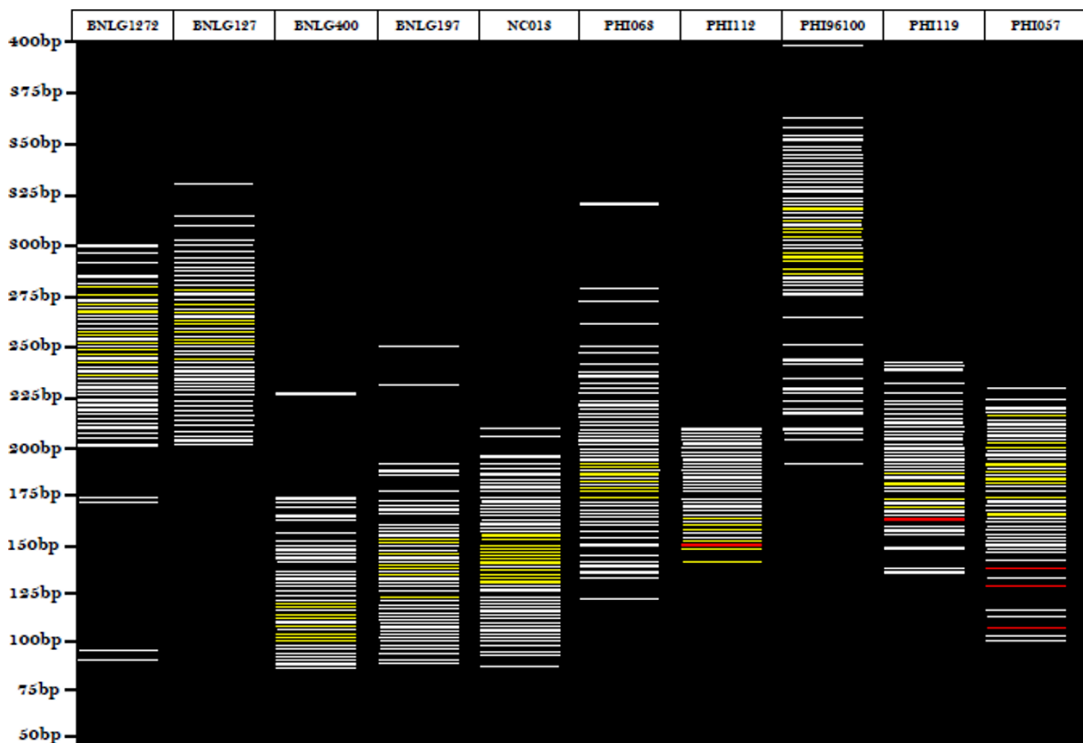
Altura de la planta: 204 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 33 g  
 Días a floración masculina: 51  
 Días a floración femenina: 54

#### Características moleculares

Número total de alelos: 87  
 Alelos por locus: 21,8  
 Número de alelos únicos: 4  
 Loci polimórficos: 4

#### Características de interés según el productor

Es preferido por ser tolerante a la sequía. Rendimiento aproximado de 1 032 kg/ha.







## Accesión 0339

### Información general

Origen: Pueblo Nuevo, Estelí, Nicaragua  
 Coordenadas: 0500327-1475160  
 Altura: 69 msnm  
 Grupo: 1  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 40



### Características morfológicas

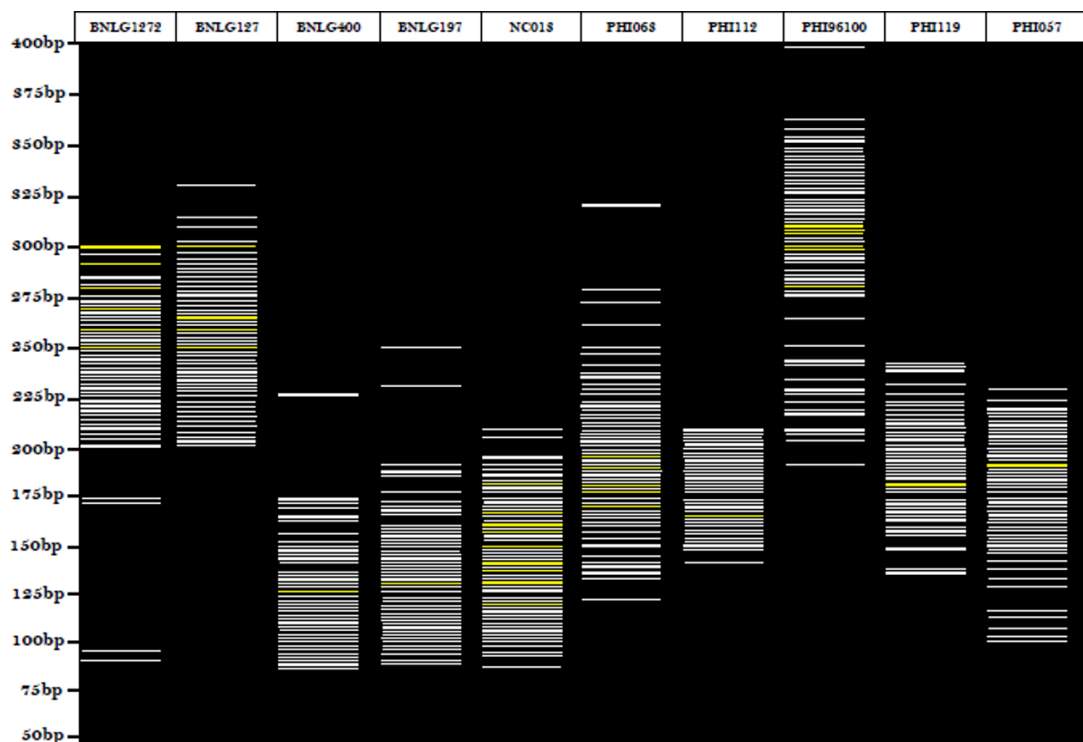
Altura de la planta: 250 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 38,06 g  
 Días a floración masculina: 57  
 Días a floración femenina: 60

### Características moleculares

Número total de alelos: 35  
 Alelos por locus: 8,8  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Es muy apreciado por ser tolerante a plagas y por su capacidad de producir de dos a tres mazorcas con buen tamaño. Rendimiento aproximado de 3 227 kg/ha.







## Accesión 0341

### Información general

Origen: Esquipulas, Matagalpa, Nicaragua  
 Coordenadas: 0577937-1485300  
 Altura: 991 msnm  
 Grupo: 5  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 30



### Características morfológicas

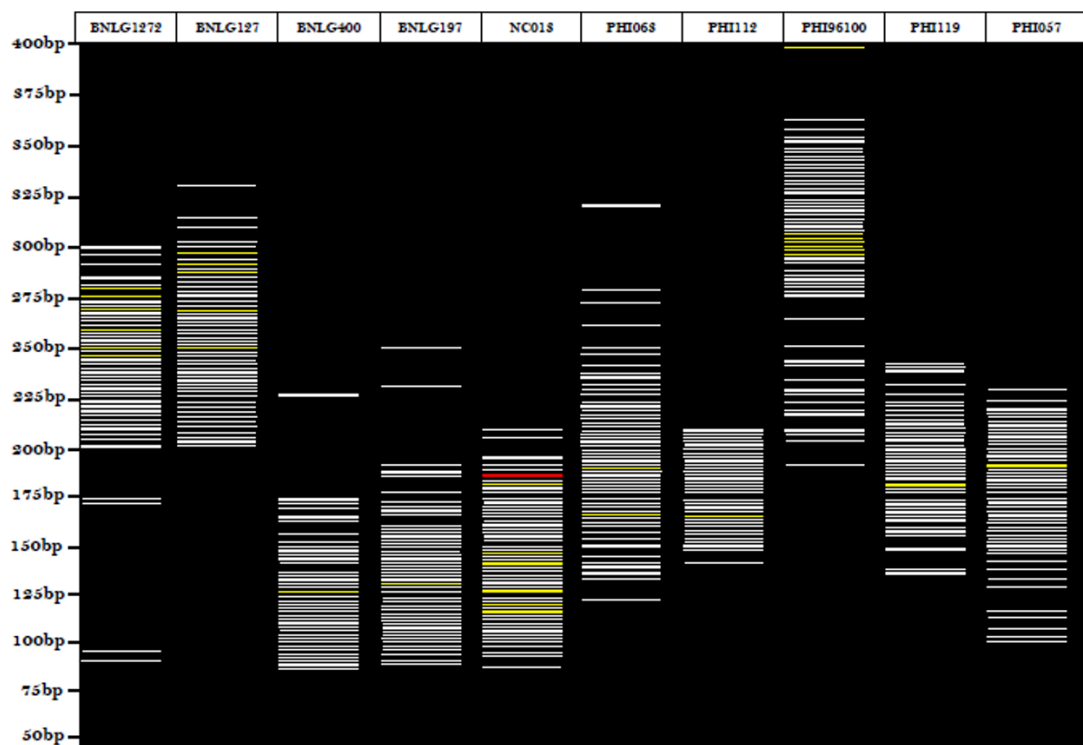
Altura de la planta: 253 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 30,7 g  
 Días a floración masculina: 59  
 Días a floración femenina: 61

### Características moleculares

Número total de alelos: 32  
 Alelos por locus: 10,7  
 Número de alelos únicos: 1  
 Loci polimórficos: 3

### Características de interés según el productor

Es muy apreciado por ser tolerante a plagas de almacén y por presentar un rendimiento aproximado de 2 905 kg/ha.







## Accesión 0346

### Información general

Origen: San Juan de Limay, Estelí, Nicaragua

Coordenadas: 0541230-1450357

Altura: 598 msnm

Grupo: 1

Tipo de material: criollo

Años de uso: 1



### Características morfológicas

Altura de la planta: 247 cm

Textura de la semilla: harinosa

Número de mazorcas por planta: 1

Peso de 100 semillas: 28,75 g

Días a floración masculina: 52

Días a floración femenina: 53

### Características moleculares

Número total de alelos: 71

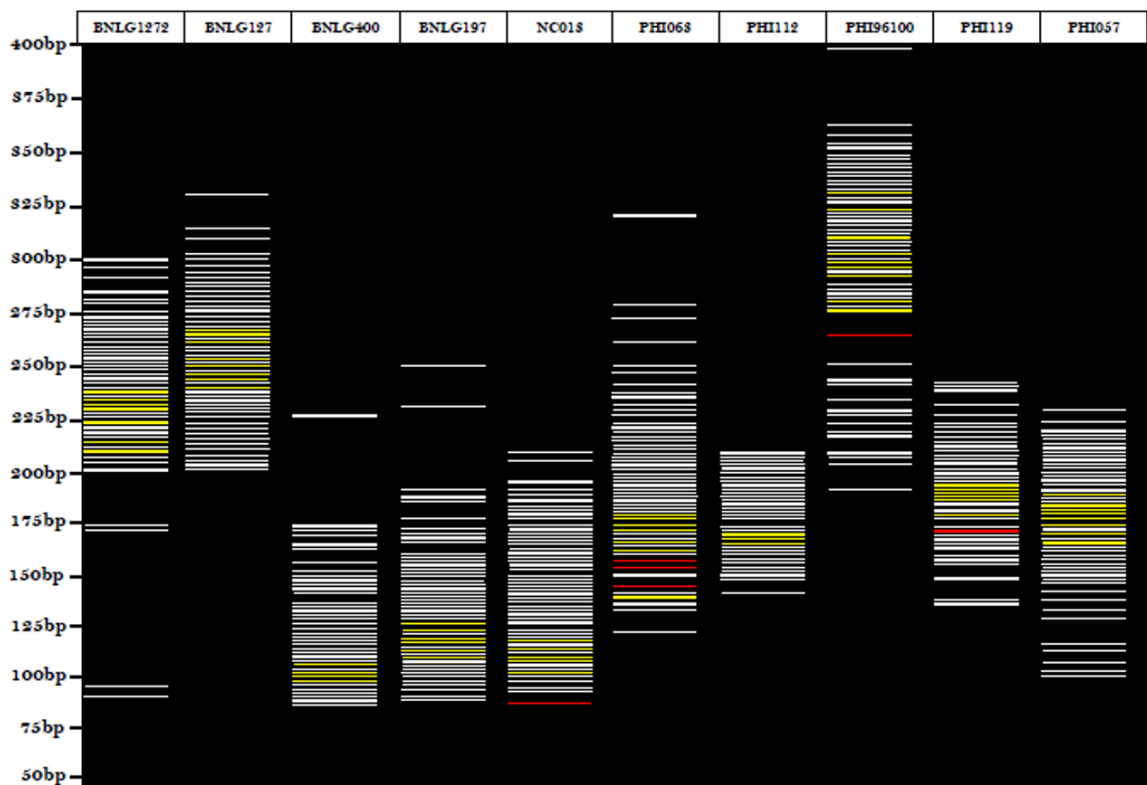
Alelos por locus: 17,8

Número de alelos únicos: 6

Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Sin información.



### Accesión 0347

#### Información general

Origen: San Juan de Limay, Estelí, Nicaragua  
 Coordenadas: 0544273-1454694  
 Altura: 339 msnm  
 Grupo: 1  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 25



#### Características morfológicas

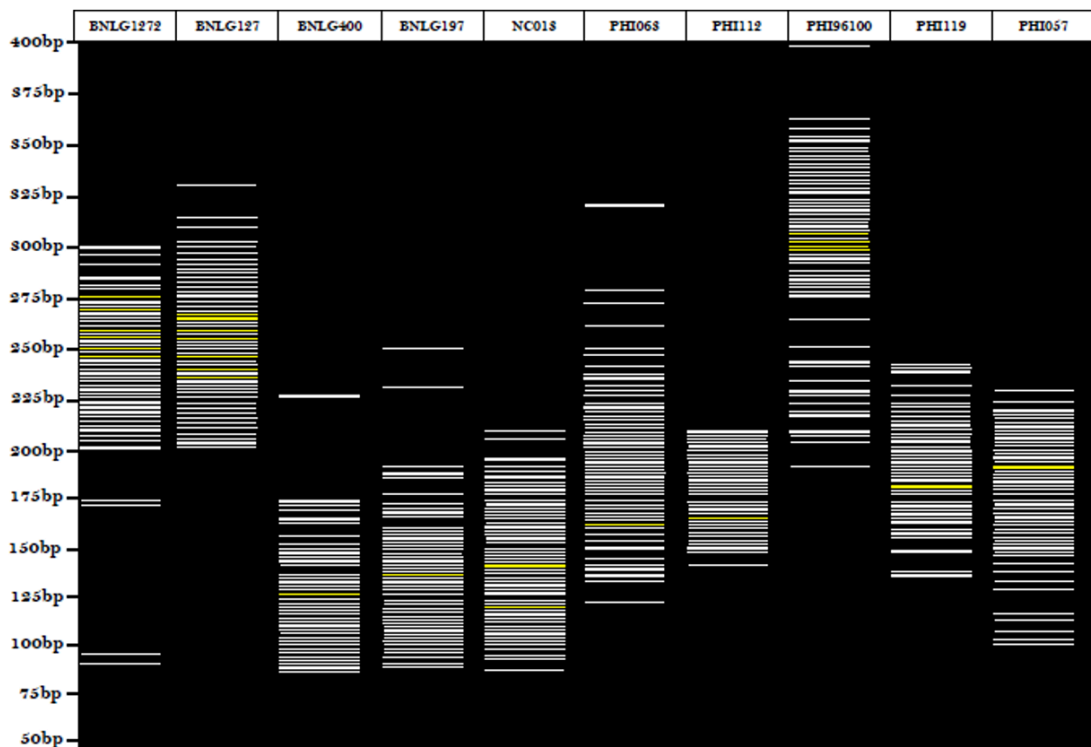
Altura de la planta: 246 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 27,75 g  
 Días a floración masculina: 51  
 Días a floración femenina: 53

#### Características moleculares

Número total de alelos: 25  
 Alelos por locus: 6,3  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 4

#### Características de interés según el productor

Es muy apreciado por ser tolerante a la sequía y las enfermedades. Rendimiento aproximado de 1 613 kg/ha.





## Accesión 0348

### Información general

Origen: La Paz Centro, León, Nicaragua  
 Coordenadas: 0548833-1385919  
 Altura: 93 msnm  
 Grupo: 2  
 Tipo de material: acriollado  
 Años de uso: 6



### Características morfológicas

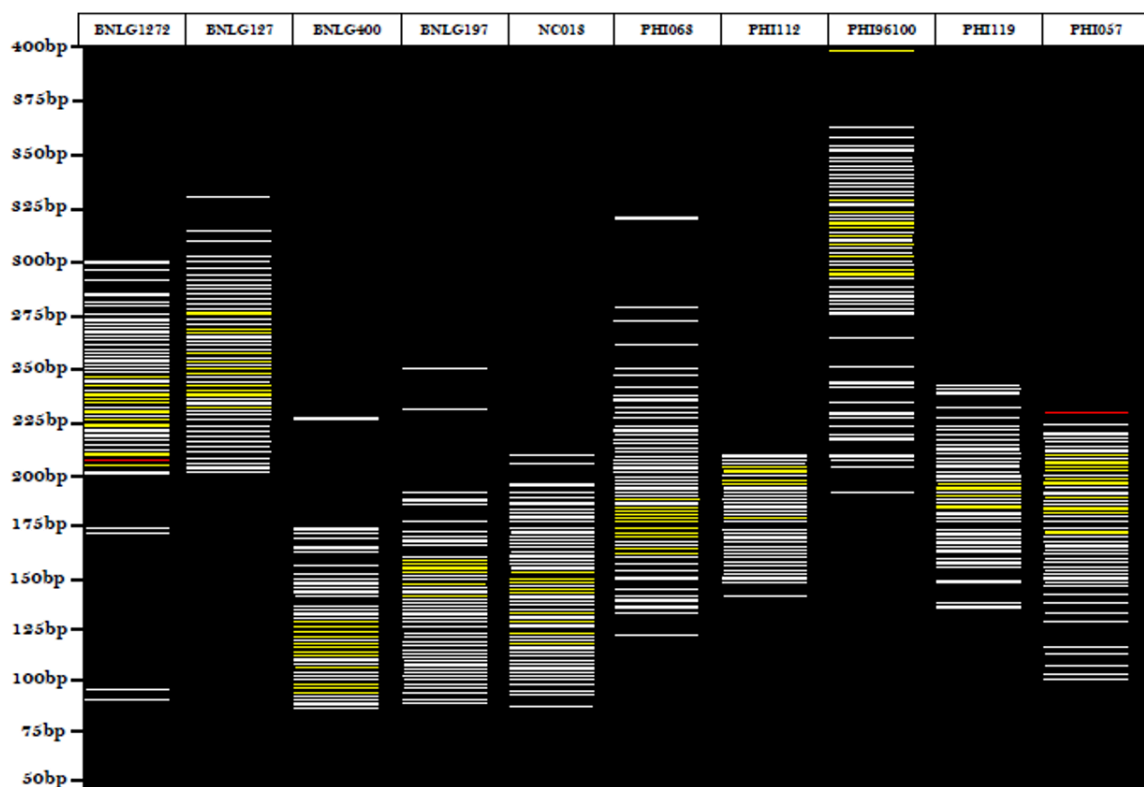
Altura de la planta: 152 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 29,87 g  
 Días a floración masculina: 58  
 Días a floración femenina: 59

### Características moleculares

Número total de alelos: 91  
 Alelos por locus: 30,3  
 Número de alelos únicos: 2  
 Loci polimórficos: 3

### Características de interés según el productor

Es preferido por su rendimiento aproximado de 1 032 kg/ha.





## Accesión 0351

### Información general

Origen: Nueva Guinea, Nueva Guinea, Nicaragua  
 Coordenadas: 0776369-1295774  
 Altura: 205 msnm  
 Grupo: 6  
 Tipo de material: acriollado  
 Años de uso: 10



### Características morfológicas

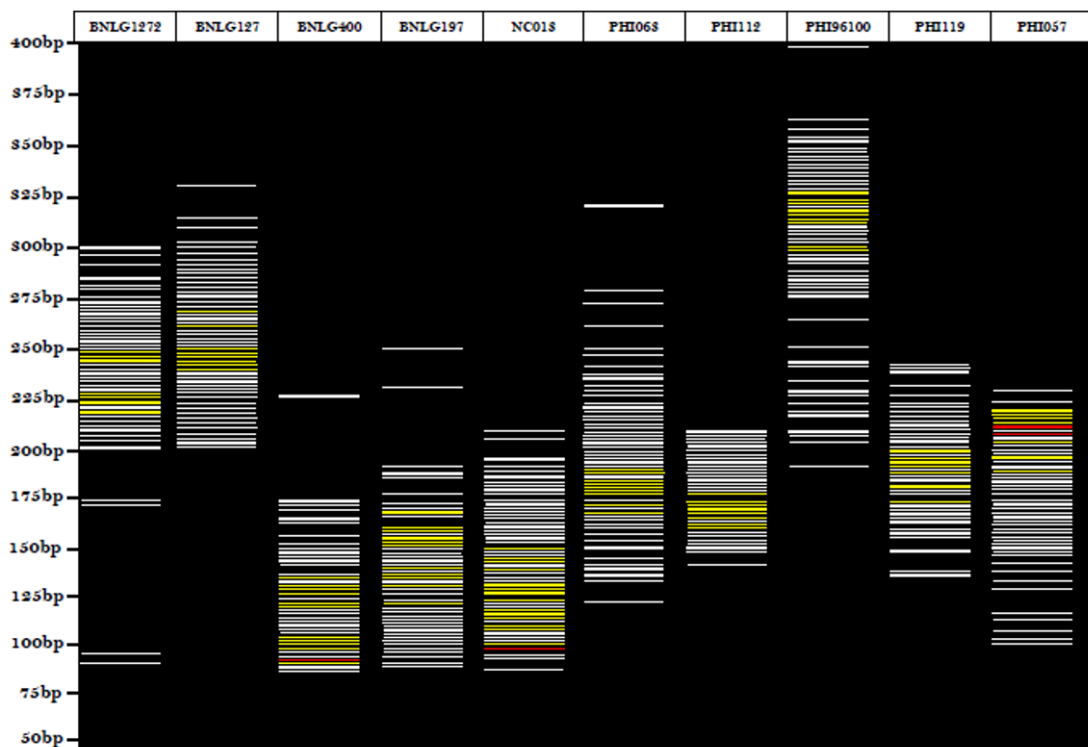
Altura de la planta: 253 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 29,87g  
 Días a floración masculina: 58  
 Días a floración femenina: 59

### Características moleculares

Número total de alelos: 96  
 Alelos por locus: 24  
 Número de alelos únicos: 4  
 Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Es preferido por tener buena cobertura de mazorca y tolerancia a exceso de humedad. Planta de buen porte. Rendimiento aproximado de 2 582 kg/ha.





## Accesión 0355

### Información general

Origen: Cinco Pinos, Chinandega, Nicaragua  
 Coordenadas: 0512478-1460583  
 Altura: 318 msnm  
 Grupo: 2  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 2



### Características morfológicas

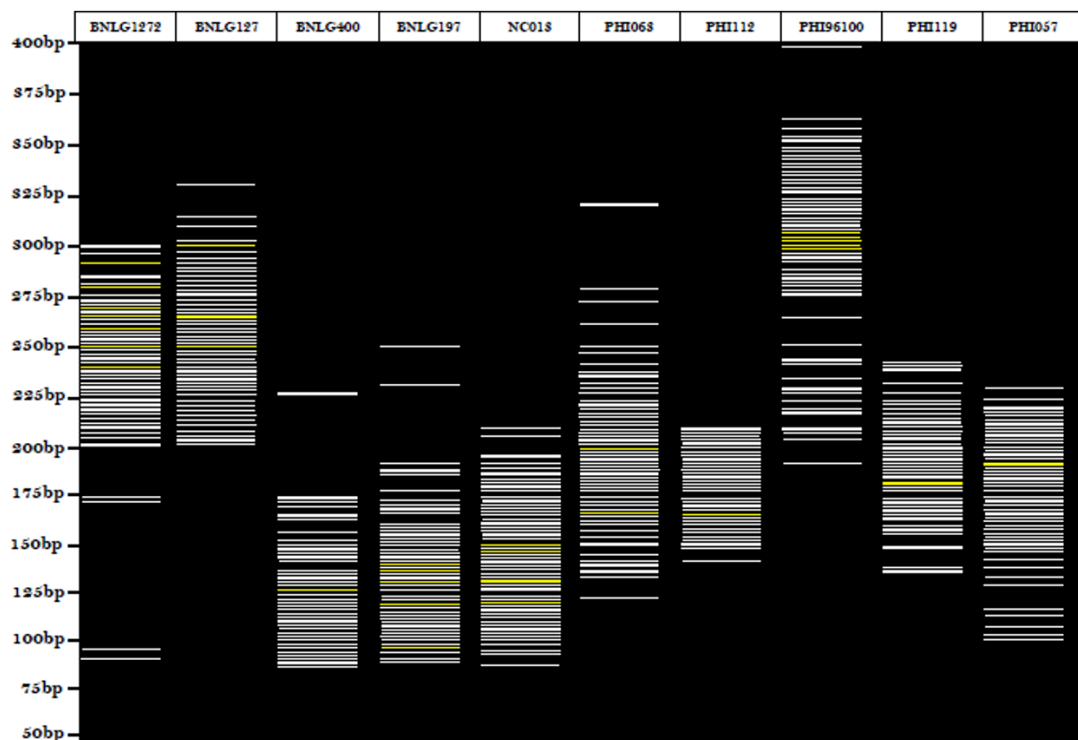
Altura de la planta: 245 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 34,75 g  
 Días a floración masculina: 57  
 Días a floración femenina: 59

### Características moleculares

Número total de alelos: 30  
 Alelos por locus: 6  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 5

### Características de interés según el productor

Es preferido por su rendimiento aproximado de 1 029,1 kg/ha.



## Accesión 0357

### Información general

Origen: Nandaime, Granada, Nicaragua  
 Coordenadas: 0601261-1288746  
 Altura: 147 msnm  
 Grupo: 3  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: sin información



### Características morfológicas

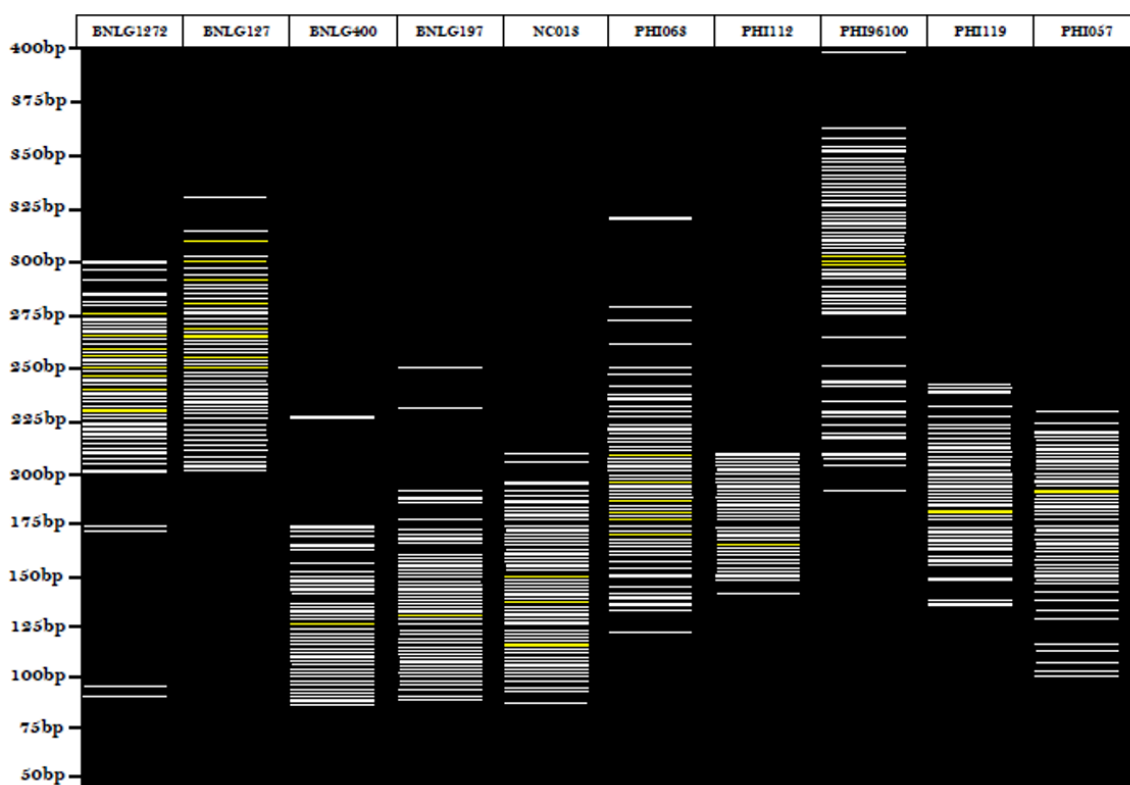
Altura de la planta: 245 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 25,78 g  
 Días a floración masculina: 62  
 Días a floración femenina: 63

### Características moleculares

Número total de alelos: 33  
 Alelos por locus: 8,3  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Es muy apreciado por tener buena cobertura en la mazorca. Planta de porte alto ideal para forraje. Rendimiento aproximado de 2 582 kg/ha.



### Accesión 0358

#### Información general

Origen: Nueva Guinea, Nueva Guinea, Nicaragua  
 Coordenadas: 0785970-1295477  
 Altura: 145 msnm  
 Grupo: 6  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: sin información



#### Características morfológicas

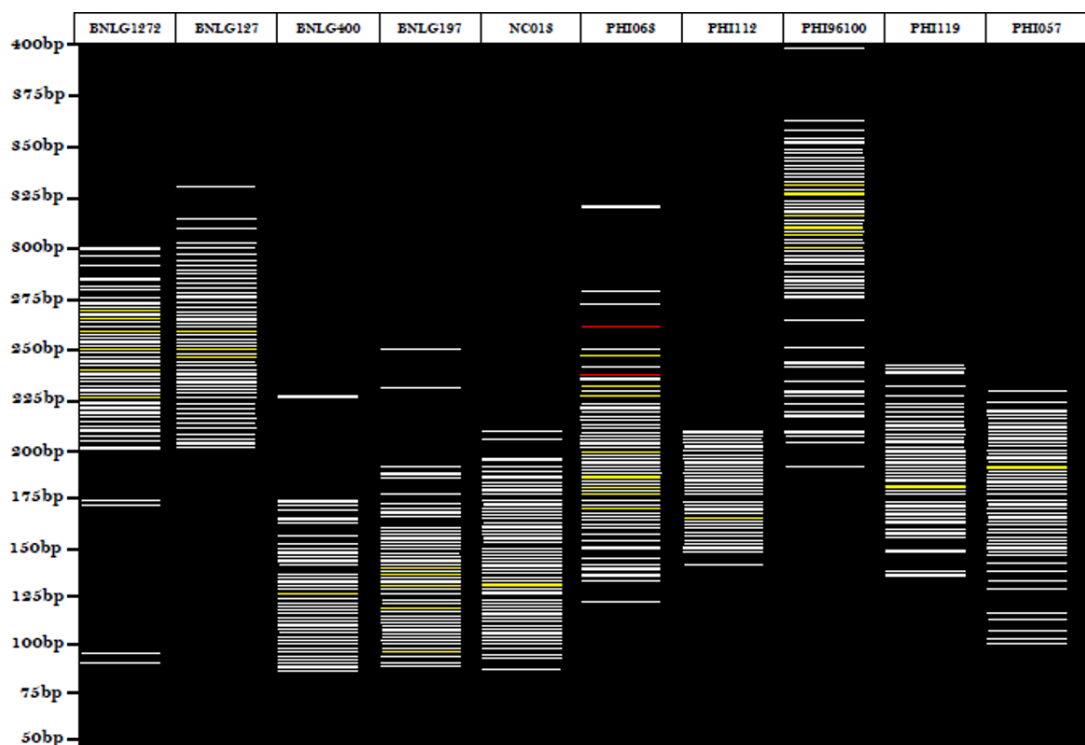
Altura de la planta: 278 cm  
 Textura de la semilla: semicristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 36,62 g  
 Días a floración masculina: 58  
 Días a floración femenina: 60

#### Características moleculares

Número total de alelos: 36  
 Alelos por locus: 36  
 Número de alelos únicos: 2  
 Loci polimórficos: 1

#### Características de interés según el productor

Es preferido por poseer grano grande y un rendimiento aproximado de 3 098 kg/ha.



## Accesión 0359

### Información general

Origen: Nueva Guinea, Nueva Guinea, Nicaragua  
 Coordenadas: 0786130-1295390  
 Altura: 171 msnm  
 Grupo: 6  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 2



### Características morfológicas

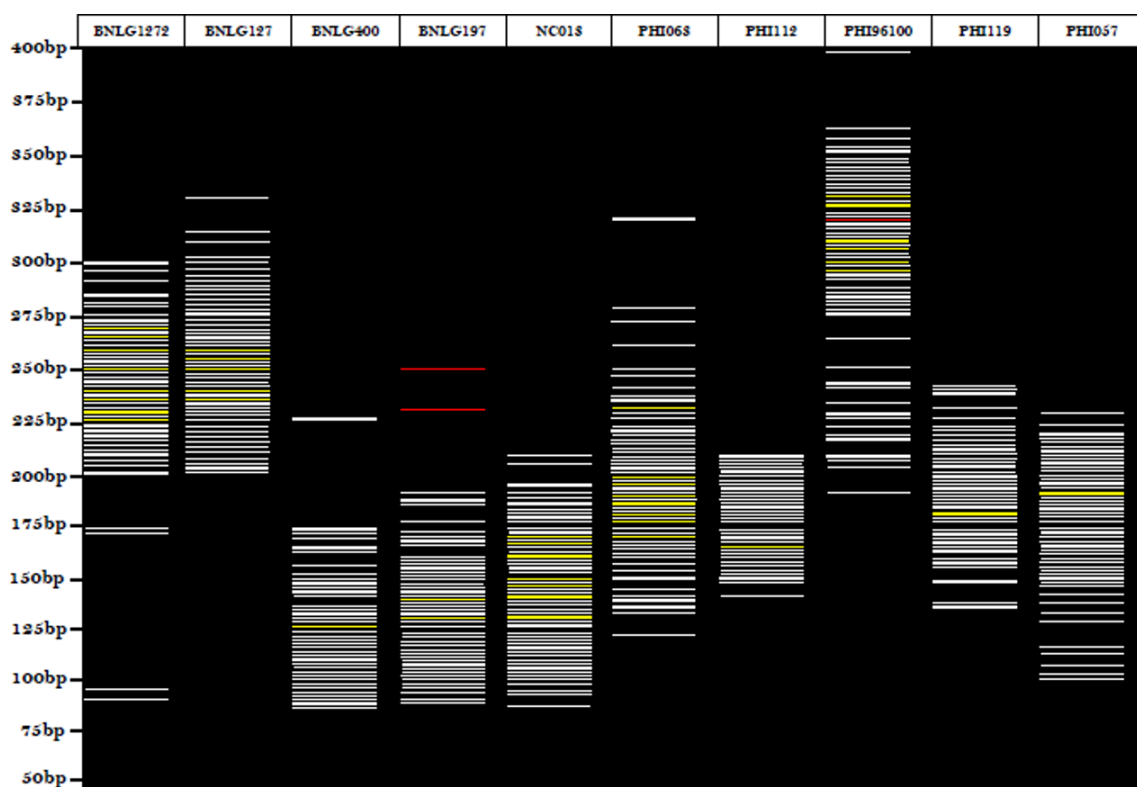
Altura de la planta: 278 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 29 g  
 Días a floración masculina: 68  
 Días a floración femenina: 70

### Características moleculares

Número total de alelos: 43  
 Alelos por locus: 8,6  
 Número de alelos únicos: 3  
 Loci polimórficos: 5

### Características de interés según el productor

Es muy apreciado por tener buena adaptación a las condiciones climáticas de la zona.  
 Rendimiento aproximado de 1 936 kg/ha.





## Accesión 0504

### Información general

Origen: Puerto Morazán, Chinandega, Nicaragua  
 Coordenadas: 0472258-1415195  
 Altura: 139 msnm  
 Grupo: 2  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 15



### Características morfológicas

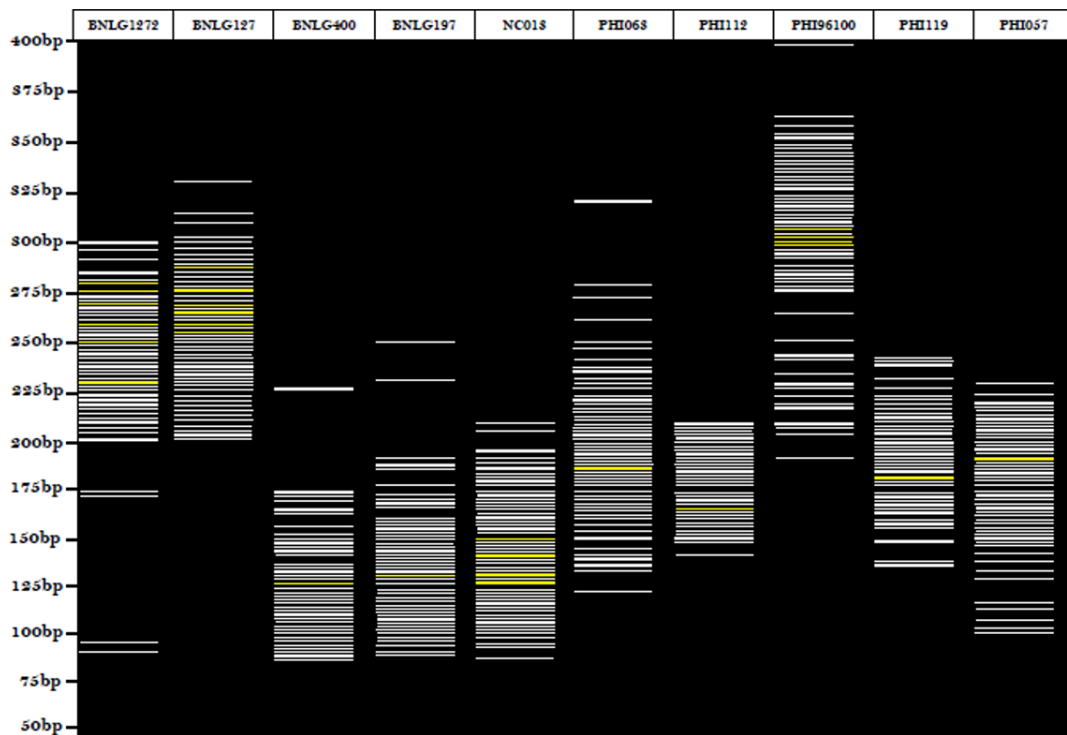
Altura de la planta: 249 cm  
 Textura de la semilla: cristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 29,65 g  
 Días a floración masculina: 51  
 Días a floración femenina: 50

### Características moleculares

Número total de alelos: 26  
 Alelos por locus: 8,7  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 3

### Características de interés según el productor

Es preferido por tener buen tamaño de mazorca y un grano grande.





## Accesión 0505

### Información general

Origen: Puerto Morazán, Chinandega,  
Nicaragua  
Coordenadas: 0472258-1415195  
Altura: 139 msnm  
Grupo: 2  
Tipo de material: criollo  
Años de uso: 15



### Características morfológicas

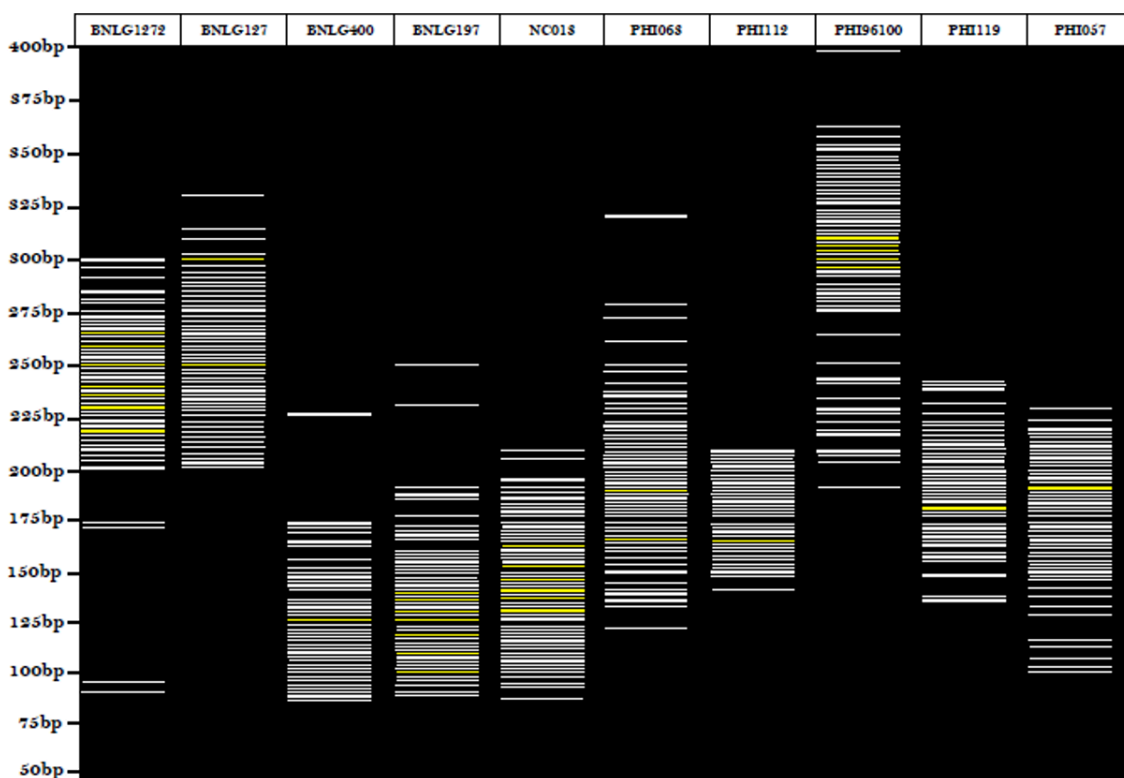
Altura de la planta: 248 cm  
Textura de la semilla: semicristalina  
Número de mazorcas por planta: 1  
Peso de 100 semillas: 29,65 g  
Días a floración masculina: 51  
Días a floración femenina: 52

### Características moleculares

Número total de alelos: 33  
Alelos por locus: 8,3  
Número de alelos únicos: 0  
Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Sin información.



## Accesión 0511

### Información general

Origen: León, León, Nicaragua  
 Coordenadas: 0523478-1400670  
 Altura: 53 msnm  
 Grupo: 2  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 20



### Características morfológicas

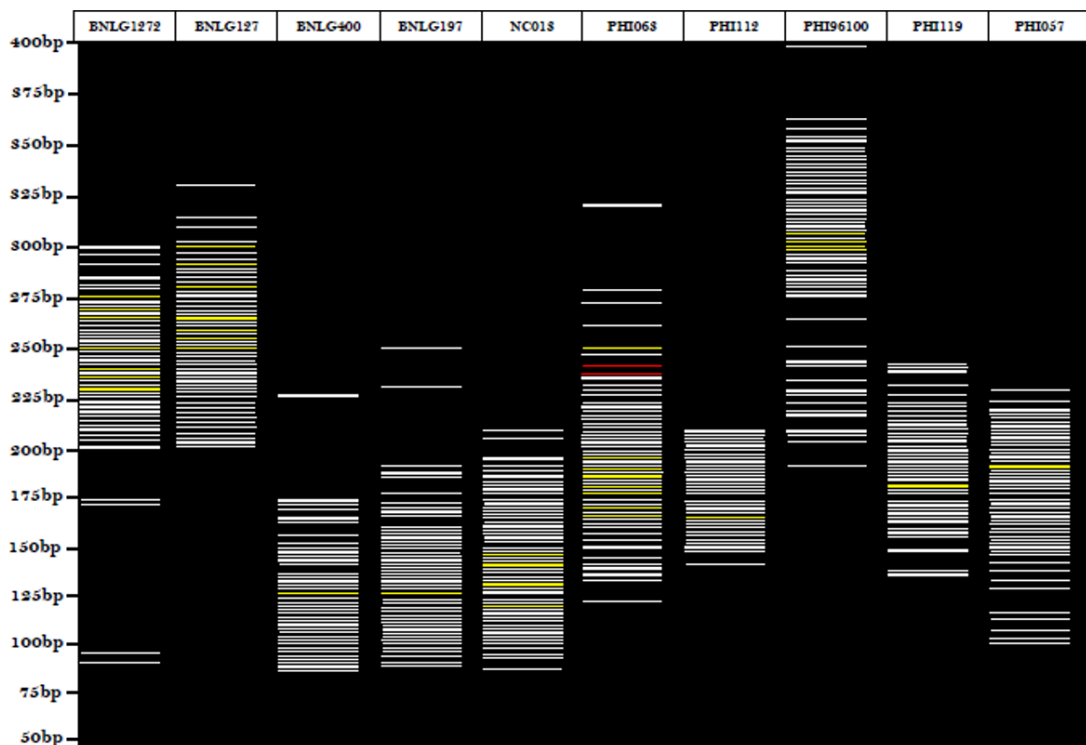
Altura de la planta: 255 cm  
 Textura de la semilla: harinosa  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 35,31 g  
 Días a floración masculina: 50  
 Días a floración femenina: 49

### Características moleculares

Número total de alelos: 37  
 Alelos por locus: 9,3  
 Número de alelos únicos: 2  
 Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Es muy apreciado por tolerar plagas y enfermedades. Rendimiento promedio de 1 613 kg/ha.





## Accesión 0515

### Información general

Origen: Somotillo, Chinandega, Nicaragua  
 Coordenadas: 517408-1440213  
 Altura: 79 msnm  
 Grupo: 2  
 Tipo de material: criollo  
 Años de uso: 5



### Características morfológicas

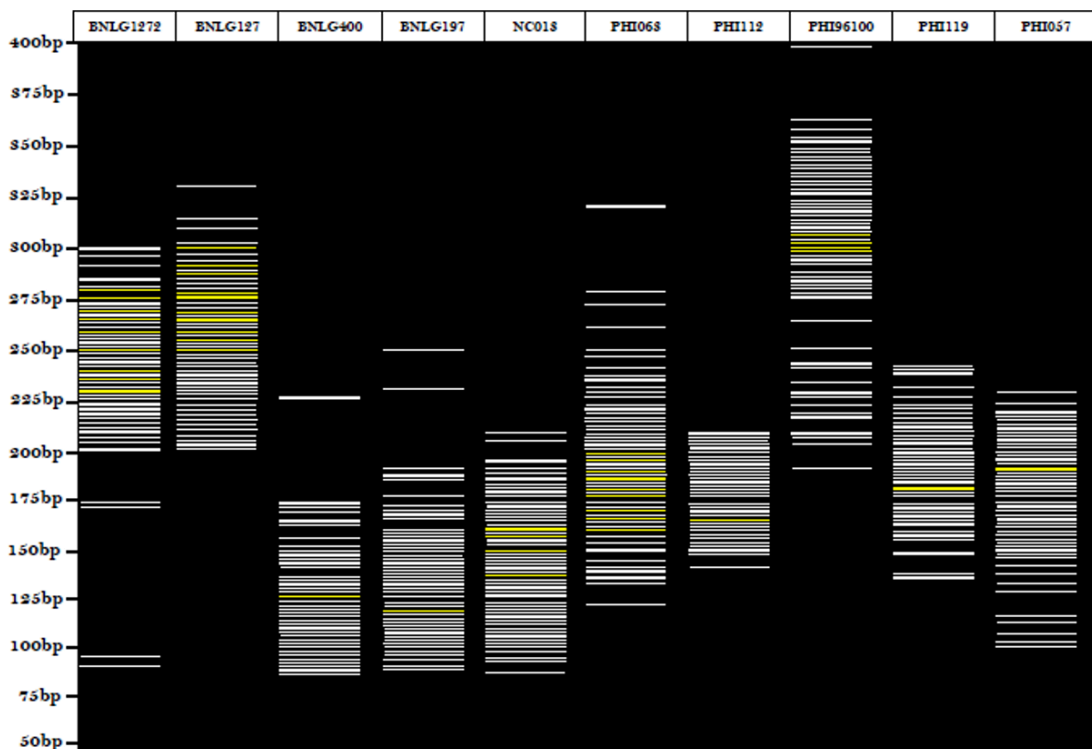
Altura de la planta: 262 cm  
 Textura de la semilla: semicristalina  
 Número de mazorcas por planta: 1  
 Peso de 100 semillas: 33,43 g  
 Días a floración masculina: 59  
 Días a floración femenina: 61

### Características moleculares

Número total de alelos: 41  
 Alelos por locus: 10,3  
 Número de alelos únicos: 0  
 Loci polimórficos: 4

### Características de interés según el productor

Es muy apreciado por tener buena cobertura de mazorca. Planta de porte alto ideal para forraje, de grano grande. Rendimiento promedio de 1 936 kg/ha.







## CONCLUSIONES

En el presente catálogo se muestran los resultados de estudios de caracterización morfológica y molecular de 40 genotipos criollos y acriollados de maíz blanco procedentes de diferentes regiones de Nicaragua. A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que existe una alta diversidad genética en las accesiones analizadas, que internamente difieren por sus lugares de origen.

Dos aspectos a señalar son la alta presencia de alelos únicos en el 55 % de las accesiones estudiadas, y que el 58,95 % de la variación genética reside dentro de las poblaciones, demostrando la importancia de mantener estrategias de conservación *ex situ* de germoplasma valioso para mitigar posibles pérdidas por erosión genética ocasionadas por el cambio climático, las actividades productivas y el crecimiento poblacional, teniendo en cuenta que estas accesiones podrían ser en un futuro fuentes de genes importantes en programas de fitomejoramiento. Es fundamental promover las actividades de regeneración y multiplicación de germoplasma que permitan asegurar la conservación de genes que se encuentran en muy bajas frecuencias en las poblaciones.

Finalmente cabe destacar que a la luz de estos resultados es importante mantener un trabajo cercano entre el BNG y los productores que hacen conservación *in situ* a fin de enriquecer la colección, compartir información y promover investigaciones participativas.



## GLOSARIO

**Accesión:** una muestra distinta, singularmente identificable de semilla que representa un cultivo, una línea o una población que se mantiene en un banco de germoplasma para su conservación y utilización.

**Acriollado:** variedad o material genético cuyo mantenimiento varietal no se ha realizado en 20 años y que ha estado en uso continuo por parte de los productores.

**Alelo:** cada una de las formas alternativas de un gen.

**Criollo:** material genético muy adaptado a un ambiente específico y cuyas características genéticas son el efecto de la selección natural y la realizada por los agricultores a través de generaciones.

**Genotipo:** perfil genético de un individuo a nivel del ADN. Constitución genética de un organismo a distinguir de su apariencia o fenotipo.

**Germoplasma:** conjunto de alelos que se transmiten por la reproducción a la siguiente generación por medio de gametos o células reproductoras. El concepto de germoplasma se utiliza también para designar a la diversidad genética de las especies cultivadas y silvestres, conocidos también como recursos fitogenéticos.

**Grupo de ligamiento:** conformado por todos los loci ubicados en el mismo cromosoma y en proximidad, por lo que tienden a heredarse juntos.

**Locus (loci en plural):** ubicación específica de un gen o una secuencia de ADN o posición en un cromosoma.

**Marcador molecular:** un segmento de ADN con una ubicación física identificable (locus) en un cromosoma y cuya herencia se puede rastrear.

**Población:** un conjunto de individuos que tienen muchas características en común, ocupan un lugar determinado y que son capaces de reproducirse.



## REFERENCIAS

**Castillo, R. y Bird, R.** 2013. *Caracterización del cultivo de maíz en Nicaragua: Un análisis de varianza de los determinantes del rendimiento*. Documento de trabajo. Managua, Banco Central de Nicaragua.

**Excoffier, L. y Lischer, H.E.L.** 2015. Arlequin suite ver 3.5.2.2: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*, 10: 564-567.

**Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA).** 2013. *Manual práctico para el manejo de germoplasma de granos básicos*. Managua.

**Jimenez, O.R.** 2009. Genetic purity of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv 'INTA ROJO') during seed production in Nicaragua. Helsinki (Finlandia). Universidad de Helsinki. Tesis de maestría.

**Morales, M.L.** 2002. Caracterización genotípica de plantas de maíz (*Zea mays* L.) utilizando secuencias microsatélites distribuidas uniformemente sobre el genoma. Buenos Aires (Argentina). Universidad de Belgrano. Tesis de licenciatura.

**Muñoz, G., Giraldo, G. y Fernández, J.** 1993. *Descriptores Varietales: Arroz, frijol, maíz, sorgo*. Cali (Colombia), Centro Internacional de Agricultura Tropical.

**Rogers, J.S.** 1972. *Measures of genetic similarity and genetic distance*. Studies in Genetics VII. University of Texas Publication no. 7213. Austin (Estados Unidos).

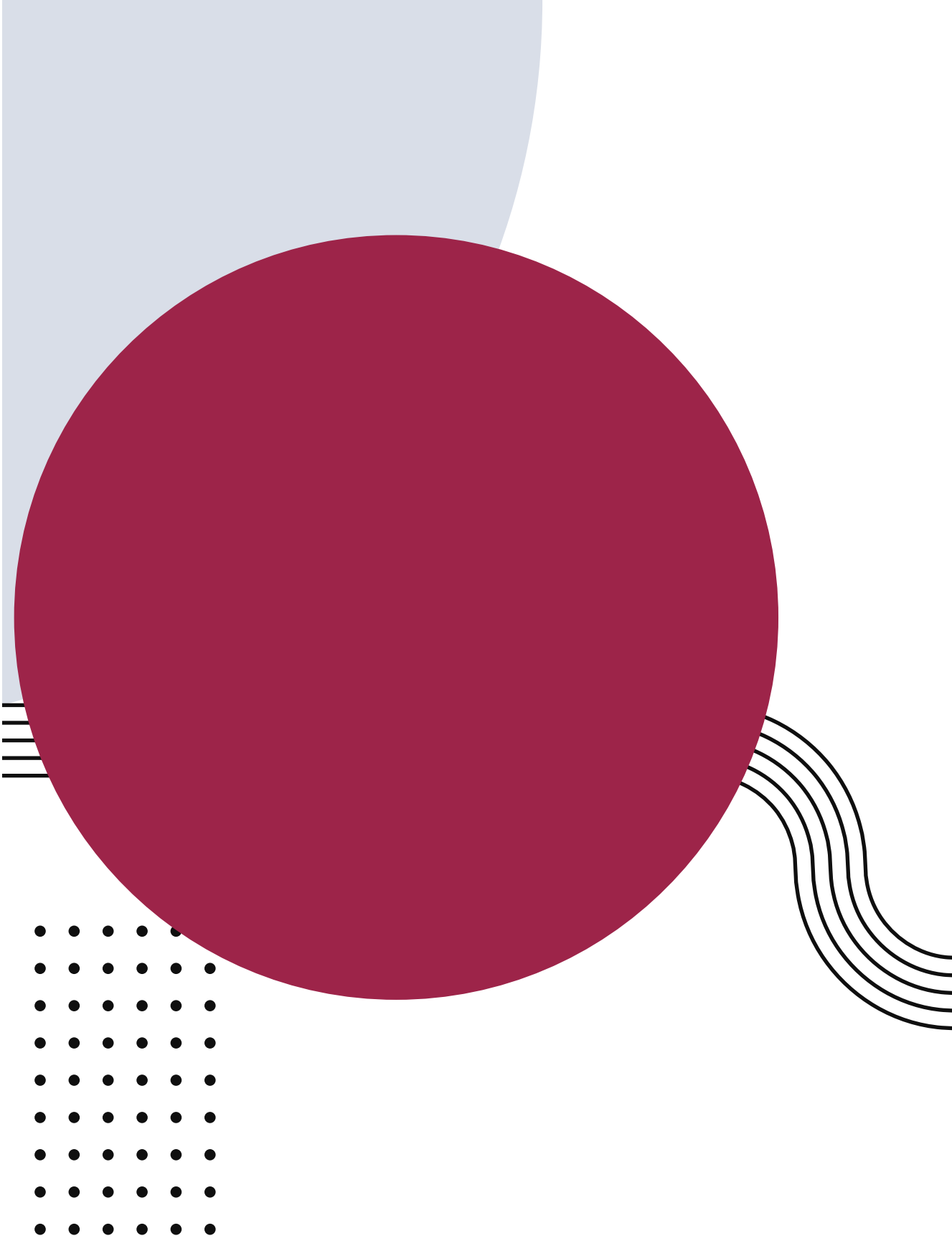
**Sharma, L., Prasanna, B.M. y Ramesh, B.** 2010. Analysis of phenotypic and microsatellite-based diversity of maize landraces in India, especially from the North East Himalayan region. *Genetica*, 138: 619-631.

**Tamura K., Stecher, G. y Kumar, S.** 2021. MEGA 11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38: 3022-3027.

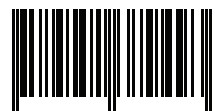
**UPOV.** 2009. *Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad*. Ginebra.

**Zhi-zhai, L., Rong-hua, G., Jiu-ran, Z., Yi-lin, C., Feng-ge, W., Mo-ju C., Ronghuan, W., Yun-su, S., Yan-chun, S., Tian-yu, W. y Yu, L.** 2010. Analysis of genetic diversity and population structure of maize landraces from the south maize region of China. *Agricultural Sciences in China*, 9(9): 1251-1262.





ISBN 978-92-5-137949-3



9 789251 379493

CC6530ES/1/07.23