



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Mesoamérica
sin
Hambre
Cooperación y políticas para la seguridad alimentaria

AMEXCID
AGENCIA MEXICANA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO

Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional
El Pueblo, Presidente!
INTA
Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria

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



ÍNDICE

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	V
PRÓLOGO	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
RESUMEN	VIII
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	2
Colecta de materiales genéticos	2
Caracterización morfológica	2
Caracterización molecular	4
Análisis estadísticos	6
RESULTADOS	7
Diversidad genética	7
Relaciones fitogenéticas entre grupos de accesiones	11
DESCRIPCIÓN DE MATERIALES CRIOLLOS Y ACRIOLLADOS DE MAÍZ	13
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
CONCLUSIONES	53
GLOSARIO	54
REFERENCIAS	55

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ADN	Ácido desoxirribonucleico
AMEXCID	Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo
BNG	Banco Nacional de Germoplasma
CNIA	Centro Nacional de Investigación Agropecuaria
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
INTA	Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria
PCR	Reacción en cadena de la polimerasa
RAACS	Región Autónoma de la Costa Caribe Sur
SDS	Sulfato dodecil sódico
mM	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, es 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; a Oswalt Jiménez por sus aportes al 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 **muestran** 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** polimórficos, amplificando de 33 a 55 alelos. Se encontraron 112 alelos únicos que fueron detectados por los 10 loci en 22 poblaciones, los **cuales** 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 **dos** grandes grupos, el primero conformado por las accesiones de las regiones IV y VI, **y** el segundo grupo conformado por las accesiones de las regiones I, II, V **y** 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 **genético** a partir de genotipos que han evolucionado mediante las estrategias de conservación *in situ* desarrolladas por productores nicaragüenses.

METODOLOGÍA

1. COLECTA DE MATERIALES GENÉTICOS

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
38	1	Chinandega	Estelí	Condega	0575876 - 1481728	Medardo Centeno	Mario Olivas
41	1	Olote rojo	Estelí	Condega	0579747 - 1479545	Jorge Ponce	Mario Olivas
53	1	Maíz bajo	Estelí	La Trinidad	0578683 - 1439780	Carmen Centeno	Julio Molina
54	1	Maíz olotillo	Estelí	La Trinidad	0578683 - 1439780	Carmen Centeno	Julio Molina
55	1	Olotillo	Estelí	La Trinidad	0582567 - 1433682	Ricardo Ortuño	Julio Molina
77	4	Maíz breve	Chontales	San Pedro del Lóvago	0692273 - 1336049	Eloy Guevara	Harold Martínez
102	5	Olotillo blanco	Jinotega	La Concordia	0591326 - 1406461	Miguel Maldonado	Oscar Castillo
116	5	Olotillo	Jinotega	Wiwilí	0628733 - 1512480	Ernesto Castillo	Oscar Castillo
182	3	Criollo olotillo blanco	Granada	Nandaime	0598853 - 1295146	Mario Guerrero	Ricardo Bolaños
183	3	Maíz hondureño	Carazo	La Paz	0598887 - 1306879	Johana Salazar	Ricardo Bolaños
184	3	Criollo olote rosado	Carazo	Santa Teresa	0593035 - 1302890	Feliciana López	Ricardo Bolaños
185	3	Maíz criollo rosado	Carazo	Santa Teresa	0592821 - 1303791	Terencio Cortes	Ricardo Bolaños
188	3	Maíz olotillo blanco	Granada	Nandaime	0598065 - 1294269	Félix Balthodano	Ricardo Bolaños
189	3	Criollo olote rosado	Carazo	Santa Teresa	0591838 - 1302734	Wilmer Cerda	Ricardo Bolaños
233	1	Pujagua	Nueva Segovia	Macualizo	0580387 - 1500316	Sixto González	Rafael Cabrera
240	1	Maíz de pinol	Madriz	Telpaneca	0571669 - 1533366	María Hernández	Gerald Bellorin
335	5	Maquina	Jinotega	San Sebastián de Yalí	0594672 - 1474245	Wilmar Zamora	Oscar Castillo
336	2	Agapeño	León	Télica	053014-1386074	Ramón Rojas	Francisco Fitoria
337	1	Catacama acriollado	Estelí	Condega	0557694 - 1473407	Francisco Loza	Francisco Fitoria
338	2	Usulután olote morado	Chinandega	Somotillo	0517991 - 1455682	Máximo Degrande	Francisco Fitoria
339	1	Quebrachito	Estelí	Pueblo Nuevo	0500327 - 1475160	Efrén Alfaro	Francisco Fitoria
340	5	Elote colorado	Matagalpa	Esquipulas	0631782 - 1401651	Medardo Hernández	Francisco Fitoria
341	5	Olotillo blanco	Matagalpa	Esquipulas	0577937 - 1485300	Herminio Gutiérrez	Francisco Fitoria
342	5	Maicillo pujagua	Matagalpa	San Isidro	0581200 - 1415889	Rito Roque	Roger Mendoza

344	1	Olote rosado	Estelí	San Juan de Limay	0546451 - 1462789	Bayardo López	Andrea María Zamora
346	1	Olotillo	Estelí	San Juan de Limay	0541230 - 1450357	Jader Menezes	Donald Juárez
347	1	Olotillo	Estelí	San Juan de Limay	0544273 - 1454694	Florencia Pérez	Donald Juárez
348	2	NB6 acriollado	León	La Paz Centro	0548833 - 1385919	Silvio Largaespada	Socorro Espinales
351	6	Maíz blanco	Nueva Guinea	Nueva Guinea	0776369 - 1295774	Sinforoso Velásquez	Donald Juárez
353	2	Viejano cuarenteño	Chinandega	Somotillo	0512174 - 1446965	Lionsa Hernández	Adda Caballero
355	2	Solutan	Chinandega	Cinco Pinos	0512478 - 1460583	Donna Hernández	Socorro Espinales
357	3	Maizón	Granada	Nandaime	0601261 - 1288746	Pablo Cruz	Francisco Fitoria
358	6	Rocamel	Nueva Guinea	Nueva Guinea	0785970 - 1295477	Francisco Aguirre	Francisco Fitoria
359	6	Olotillo	Nueva Guinea	Nueva Guinea	0786130 - 1295390	Teodoro Flores	Francisco Fitoria
504	2	Elotillo rosado	Chinandega	Puerto Morazán	0472258 - 1415195	Emiliano Bobadilla	Amelia Gutiérrez
505	2	Elotillo blanco	Chinandega	Puerto Morazán	0472258 - 1415195	Antonio Suazo	Amelia Gutiérrez
511	2	Maicillo blanco	León	León	0523478 - 1400670	Rosario Paíz	Isabel Aburto
512	2	Olotillo blanco	León	León	0523478 - 1400670	Aurora Uriarte	Amelia Gutiérrez
515	2	Zulatan olote rojo	Chinandega	Somotillo	0517408 - 1440213	Medardo Escalante	Isabel Aburto
618	3	Olotillo rojo	Rivas	Belén	613139 - 1275347	Felix Antonio Espinoza	Nestor Cajina

Fuente: elaboración propia.

3. CARACTERIZACIÓN MOLECULAR

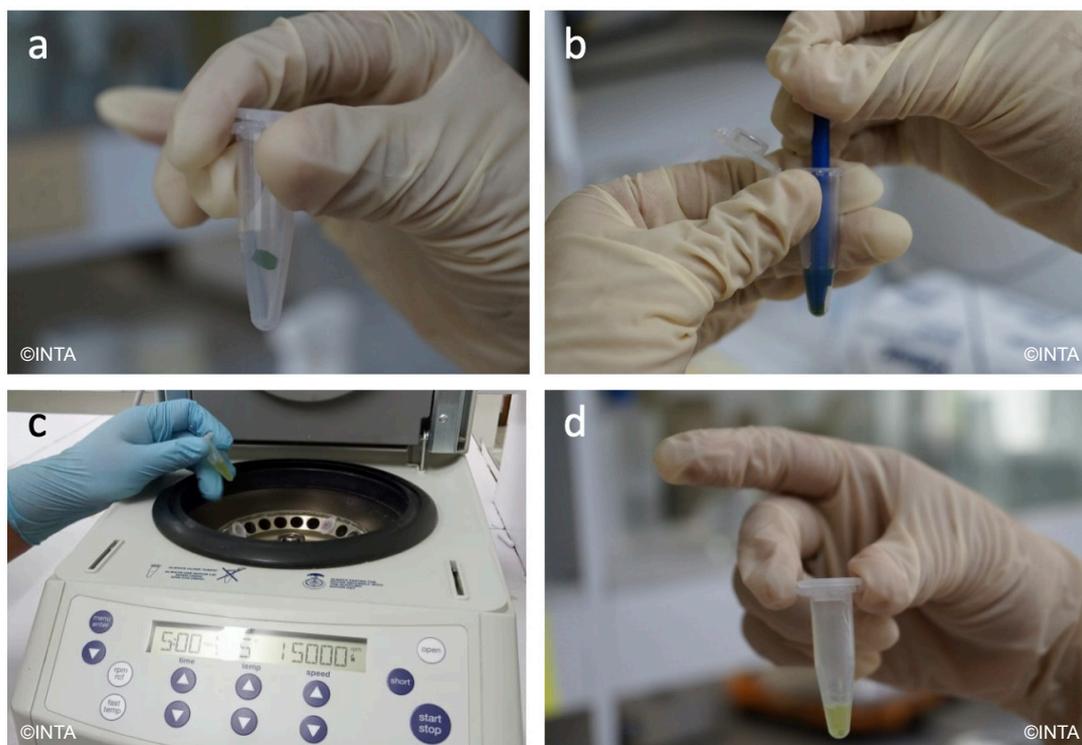
3.1. Extracción de ADN genómico

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:

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 μ 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 μL de sulfato dodecil sódico (SDS) al 10 %. Las muestras de tejido vegetal se colocaron en un incubador tipo baño maría a 65 °C por 10 minutos, mezclándolas al menos tres veces en ese intervalo de tiempo. Posteriormente, se agregaron 112 μL 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 °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 °C por 20 minutos.
6. En un siguiente paso, las muestras se centrifugaron nuevamente a una velocidad aproximada de 18 000 $\times g$ a 5 °C por 15 minutos.
7. Luego, se extrajo el 2-propanol y se procedió a lavar el pellet de ADN tres veces usando 100 μL de etanol (70 %) a una velocidad aproximada de 15 000 $\times g$ a 5 °C por cinco minutos.
8. Posteriormente, los pellets de ADN se secaron, se re-disolviaron en 100 μL de buffer TE [conteniendo Tris-HCl (10 mM) pH 8,0 y EDTA (1 mM)] y se conservaron a -24 °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 μ L. Primero, para cada muestra se preparó una mezcla de los siguientes compuestos: 12 μ L de agua libre de nucleasas, 2 μ L de 10X buffer, 0,4 μ L de dNTPs (mezcla de nucleótidos, 10 mM de cada uno), 2 μ L de cada primer o marcador (*forward* y *reverse*), y finalmente 0,6 μ L de ADN polimerasa (2 U/ μ L). Luego, a la mezcla anterior se agregó 1 μ L de ADN genómico (20-40 ng/ μ 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 **transluminador** 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 Arlequín versión **3,5** (Excoffier *et al.*, 2005). 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. Esto 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 realización de 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 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

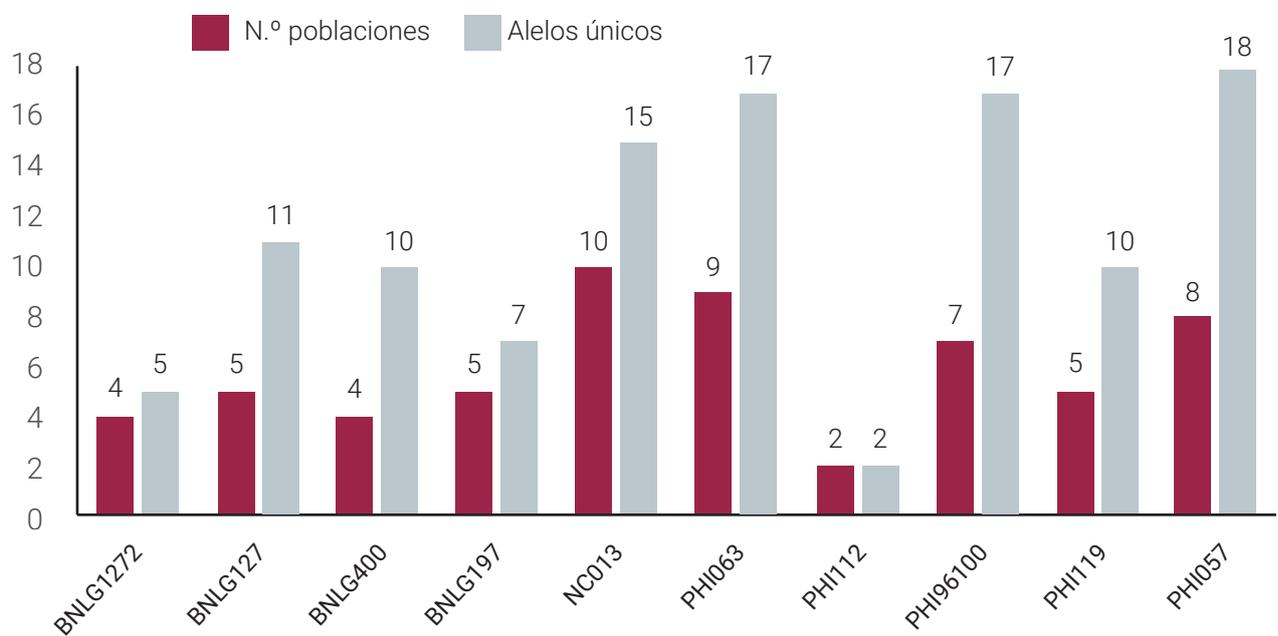
PHI119	8,02	138-242	41
PHI057	7,01	100-228	49
Media	---	---	47
Desviación estándar	---	---	9

*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, **confirmando así que entre menos diferentes sean las poblaciones entre ellas, mayor será la divergencia genética entre sus individuos o viceversa.**

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 retomen 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 el Cuadro 4 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.

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

Accesión	Grupo	Número total de alelos	Número de alelos únicos	Número de alelos por locus	Número de loci polimórficos
0038	1	92	7	30,7	3
0041	1	26	0	5,2	5
0053	1	88	5	29,3	3
0054	1	77	3	12,8	6
0055	1	99	13	49,5	2
0077	4	91	10	91	1
0102	5	28	0	7	4
0116	5	41	0	8,2	5
0182	3	36	4	12	3
0183	3	84	6	21	4
0184	3	28	0	9,3	3
0185	3	49	1	16,3	3
0188	3	43	0	10,8	4
0189	3	26	1	6,5	4
0233	1	35	0	8,8	4
0240	1	35	0	7	5
0335	5	92	8	30,7	3
0336	2	88	11	29,3	3
0337	1	87	4	21,8	4
0338	2	91	9	45,5	2
0339	1	35	0	8,8	4
0340	5	82	2	11,7	7
0341	5	32	1	10,7	3
0342	5	30	0	10	3
0344	1	31	0	6,2	5
0346	1	71	6	17,8	4
0347	1	25	0	6,3	4
0348	2	91	2	30,3	3
0351	6	96	4	24	4
0353	2	31	0	7,8	4
0355	2	30	0	6	5
0357	3	33	0	8,3	4
0358	6	36	2	36	1
0359	6	43	3	8,6	5
0504	2	26	0	8,7	3
0505	2	33	0	8,3	4
0511	2	37	2	9,3	4
0512	2	29	0	14,5	2
0515	2	41	0	10,3	4
0618	3	80	8	11,4	7

Fuente: elaboración propia.

2. RELACIONES FITOGENÉTICAS 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. Las distancias genéticas entre cada uno de los grupos propuestos variaron de 0,3230 a 0,4670.

Cuadro 5. Distancias genéticas entre seis grupos de accesiones criollas y acriolladas de maíz agrupadas por sitios de origen

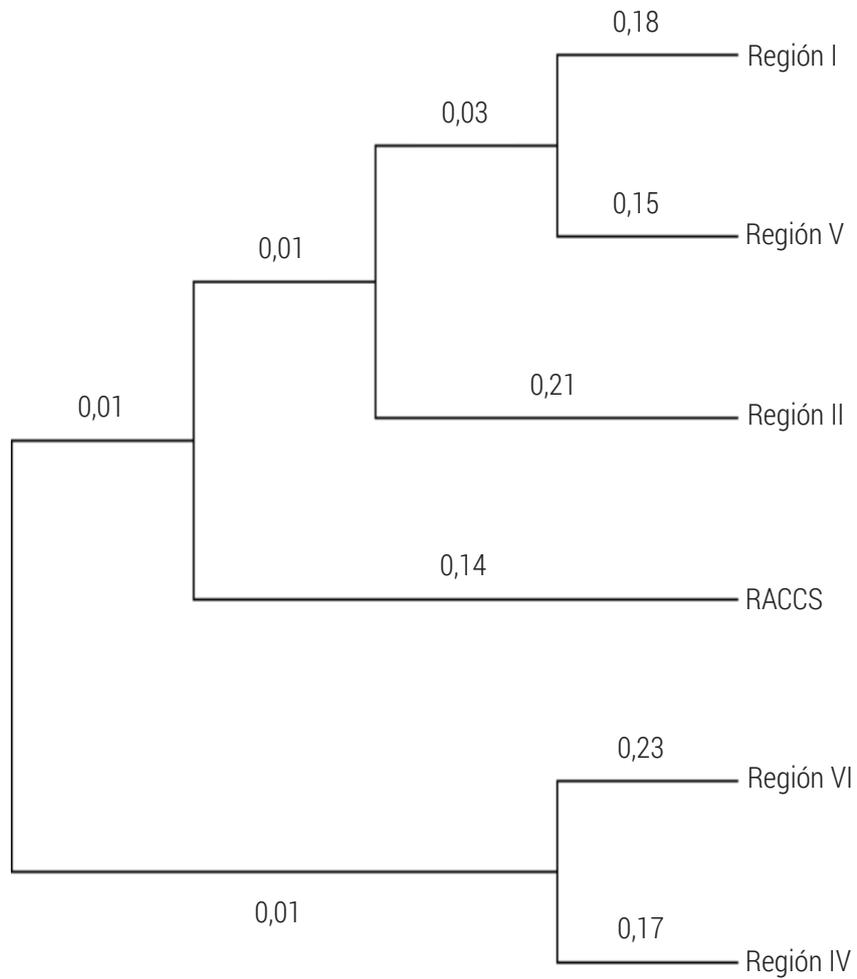
Grupos	1	2	3	4	5	6
1	-					
2	0,424	-				
3	0,406	0,401	-			
4	0,331	0,390	0,379	-		
5	0,464	0,467	0,391	0,418	-	
6	0,373	0,349	0,323	0,330	0,388	-

Fuente: elaboración propia.

El árbol filogenético derivado de las distancias genéticas entre los grupos se muestra en la **Figura 3**. Se diferencian **dos** grandes grupos, el primero conformado por las accesiones de las regiones IV y VI, **y** el segundo grupo conformado por las accesiones de las regiones I, II, **V** y **la** RACCS. Como parte del segundo grupo existen **tres** subgrupos, el primero conformado por las regiones I y **V**, el segundo comprende las accesiones de la región II **y el tercero, formado por las accesiones de la RACCS**.

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

Figura 3. 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

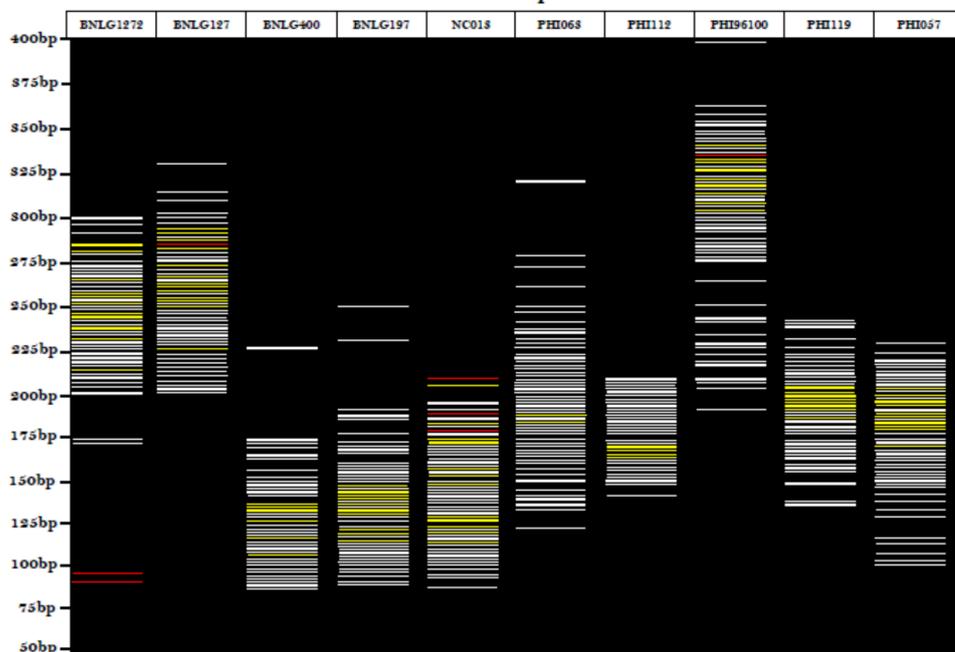
Altura de la planta: 215 cm
 Textura de la semilla: semicristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 37,12 g
 Días a floración masculina: 55
 Días a floración femenina: 56

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 0054

Información general

Origen: La Trinidad, Estelí, Nicaragua
 Coordenadas: 0578683-1439780
 Altura: 984 msnm
 Grupo: 1
 Tipo de material: criollo
 Años de uso: 50



Características morfológicas

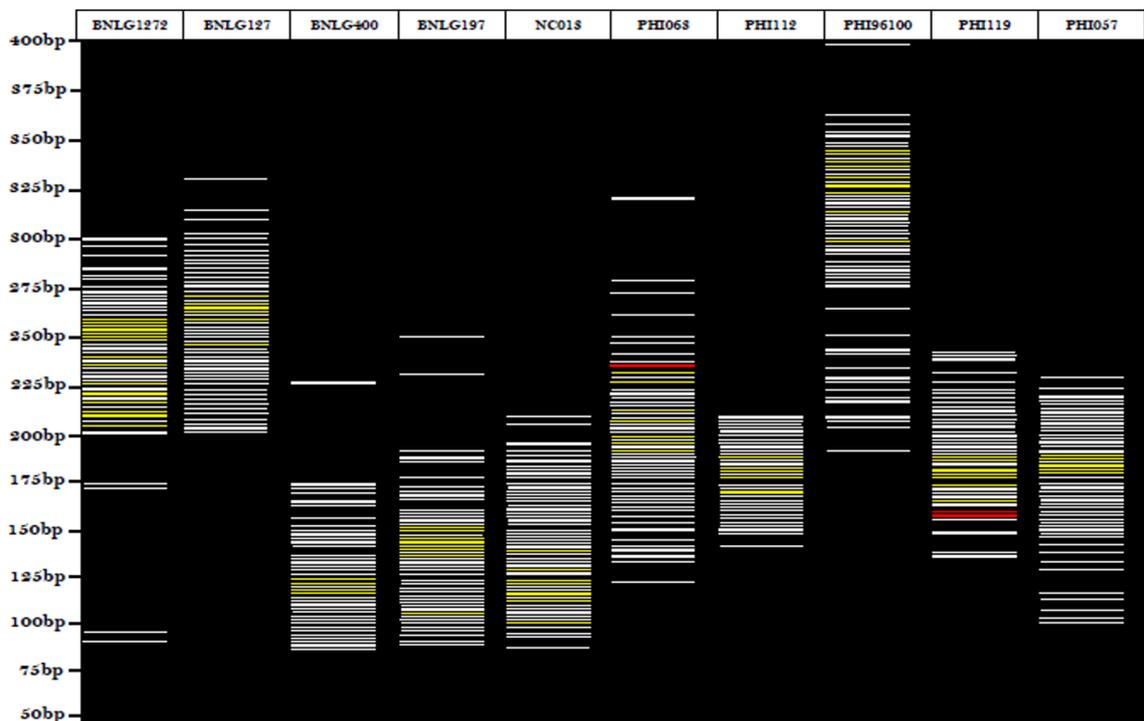
Altura de la planta: 233,6 cm
 Textura de la semilla: harinosa
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 40,19 g
 Días a floración masculina: 47
 Días a floración femenina: 47

Características moleculares

Número total de alelos: 77
 Alelos por locus: 12,8
 Número de alelos únicos: 3
 Loci polimórficos: 6

Características de interés según el productor

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



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

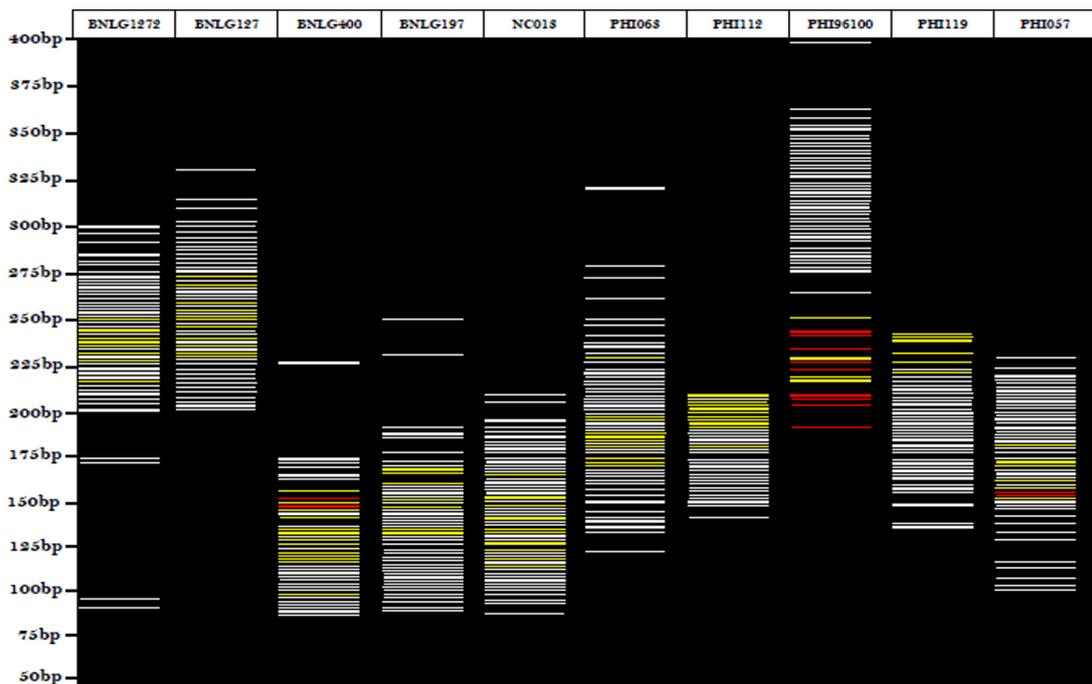
Altura de la planta: 232 cm
 Textura de la semilla: harinosa
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 33,31 g
 Días a floración masculina: 44
 Días a floración femenina: 45

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

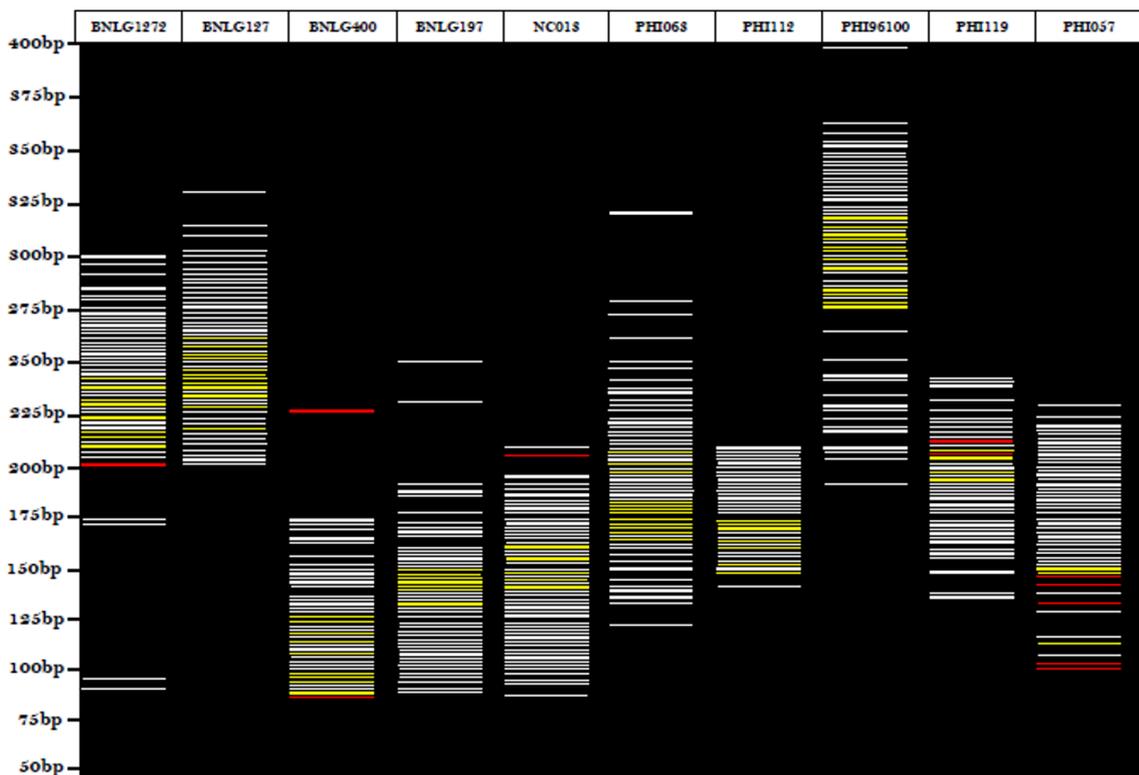
Altura de la planta: 268,5 cm
Textura de la semilla: harinosa
Número de mazorcas por planta: 1
Peso de 100 semillas: 40,44 g
Días a floración masculina: 53
Días a floración femenina: 53

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 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

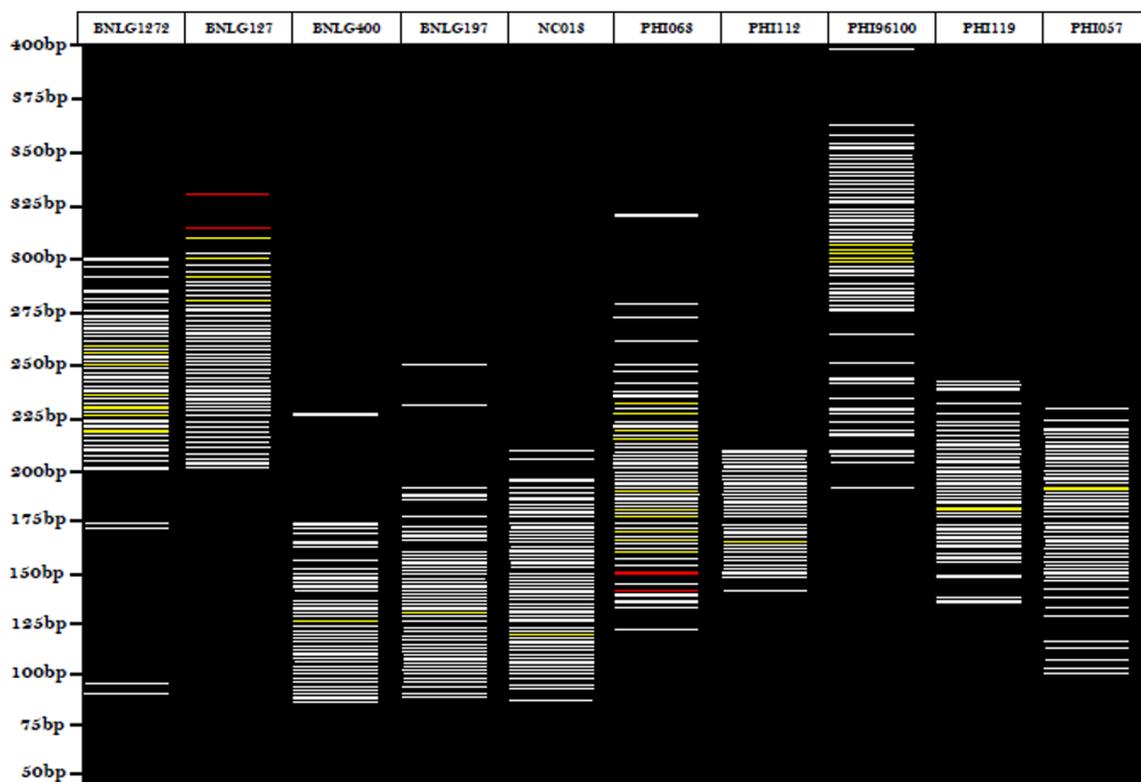
Altura de la planta: 256 cm
 Textura de la semilla: cristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 26,62 g
 Días a floración masculina: 65
 Días a floración femenina: 69

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

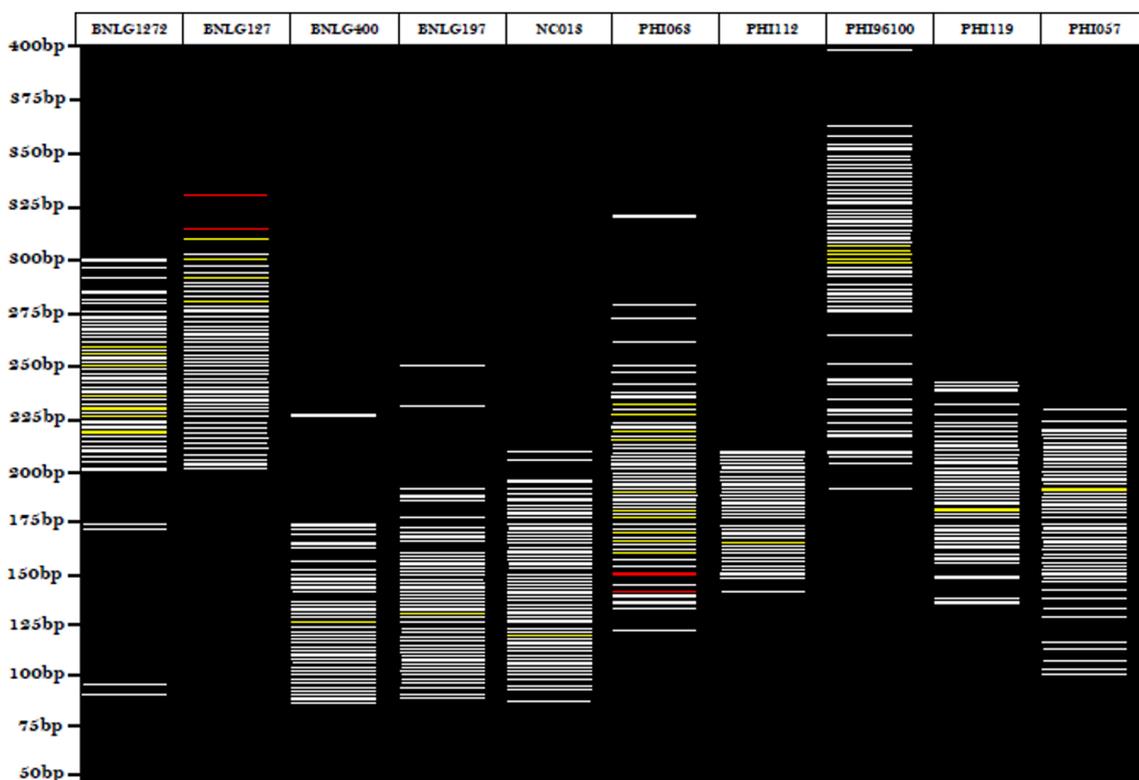
Altura de la planta: 236,6 cm
 Textura de la semilla: harinosa
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 29,81 g
 Días a floración masculina: 47
 Días a floración femenina: 47

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

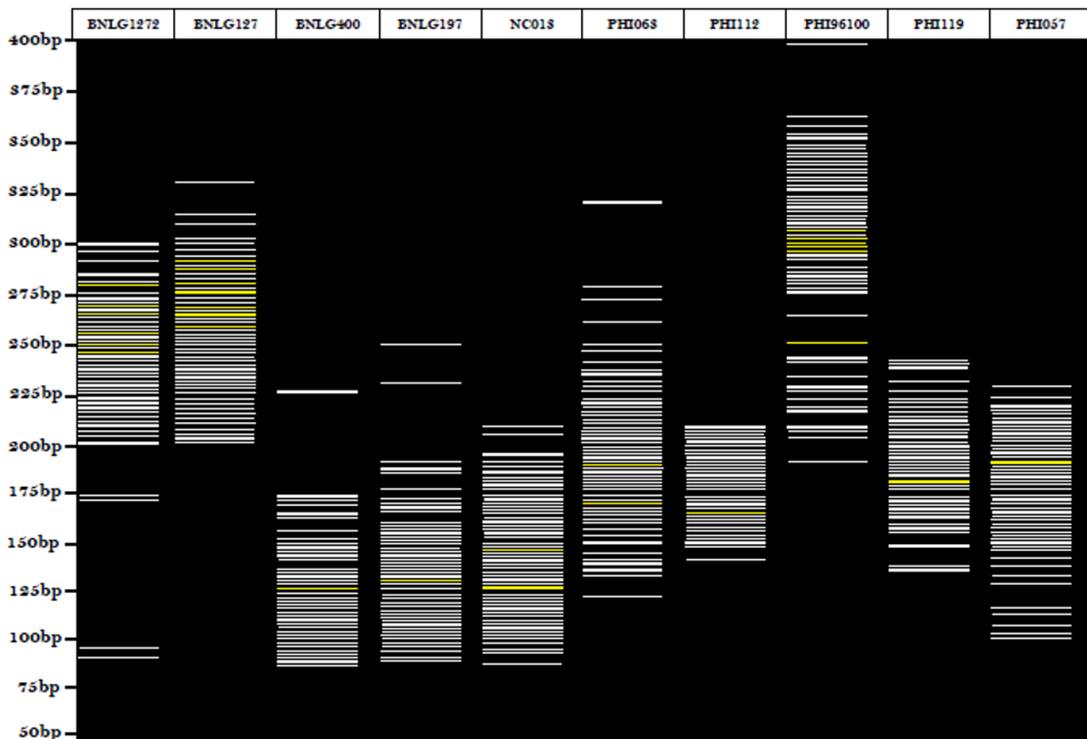
Altura de la planta: 206 cm
 Textura de la semilla: semicristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 29,75 g
 Días a floración masculina: 53
 Días a floración femenina: 54

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

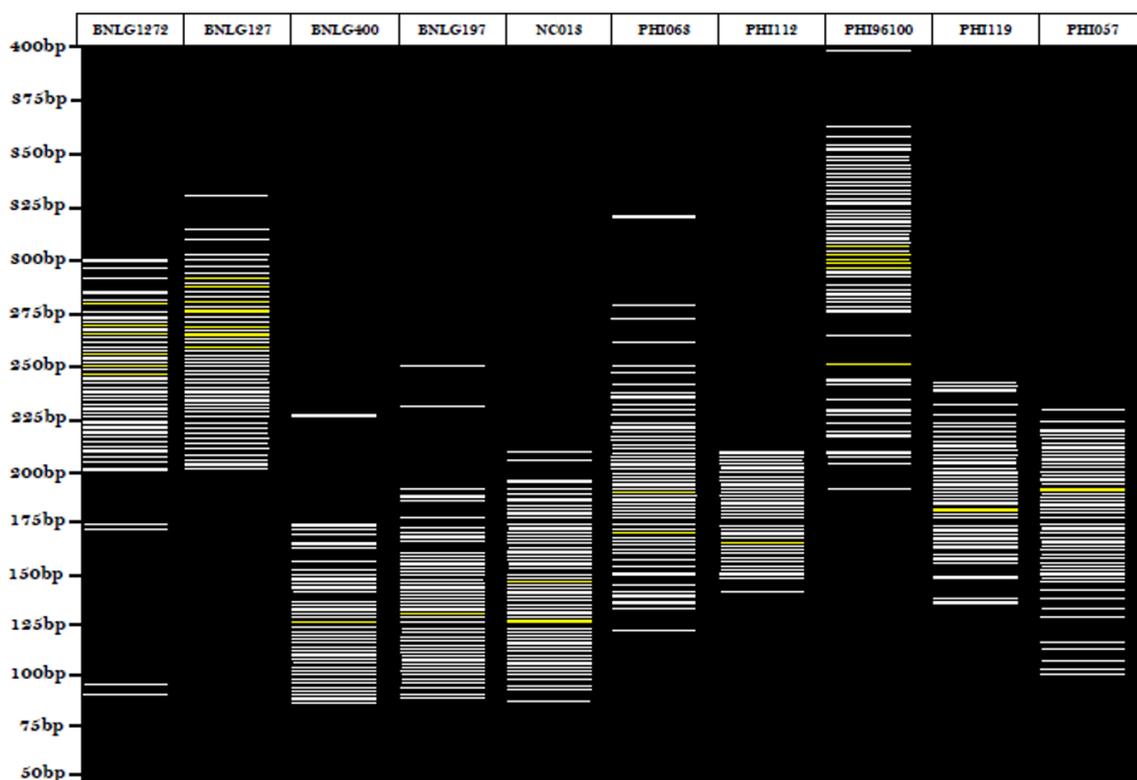
Altura de la planta: 226 cm
 Textura de la semilla: semicristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 34,18 g
 Días a floración masculina: 54
 Días a floración femenina: 54

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

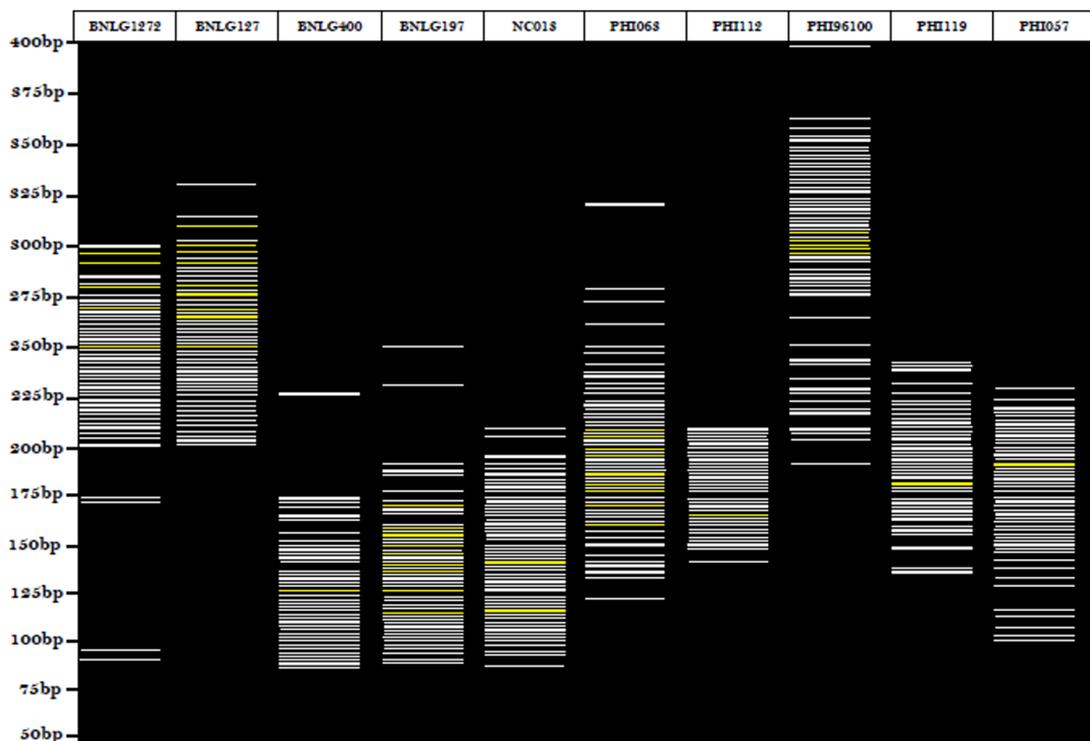
Altura de la planta: 243 cm
 Textura de la semilla: cristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 29,21 g
 Días a floración masculina: 54
 Días a floración femenina: 54

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

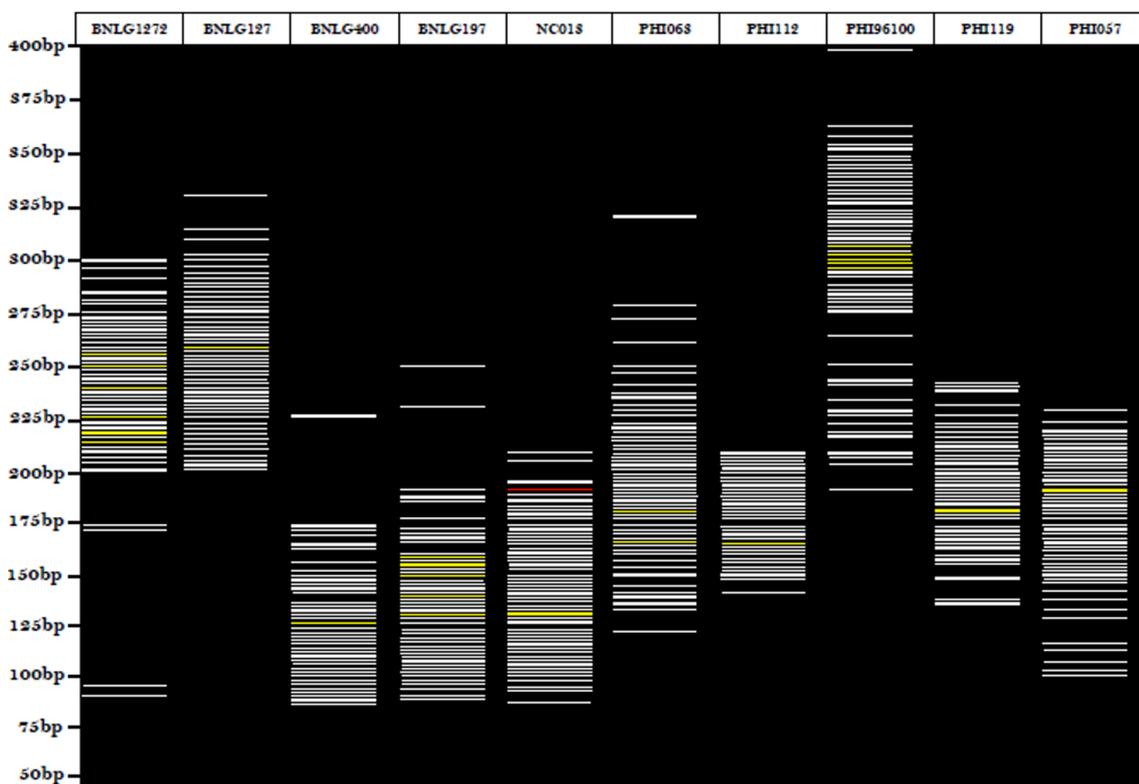
Altura de la planta: 202 cm
 Textura de la semilla: cristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 33,81 g
 Días a floración masculina: 48
 Días a floración femenina: 49

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

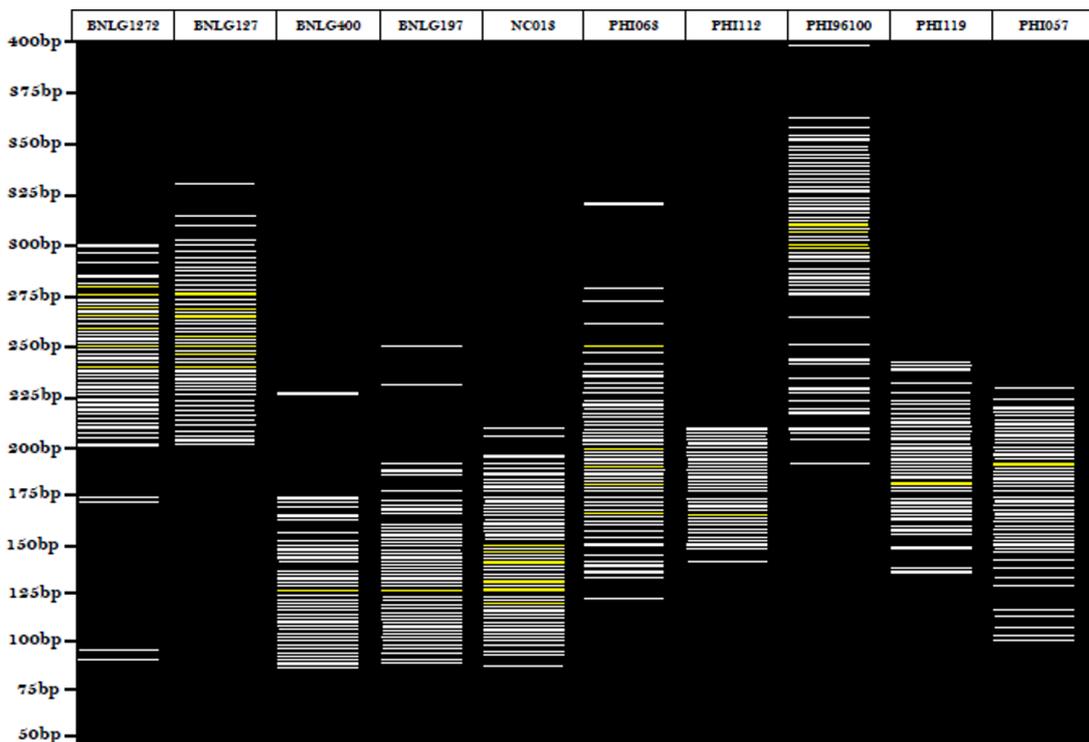
Altura de la planta: 267 cm
 Textura de la semilla: harinosa
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 41,06 g
 Días a floración masculina: 53
 Días a floración femenina: 55

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

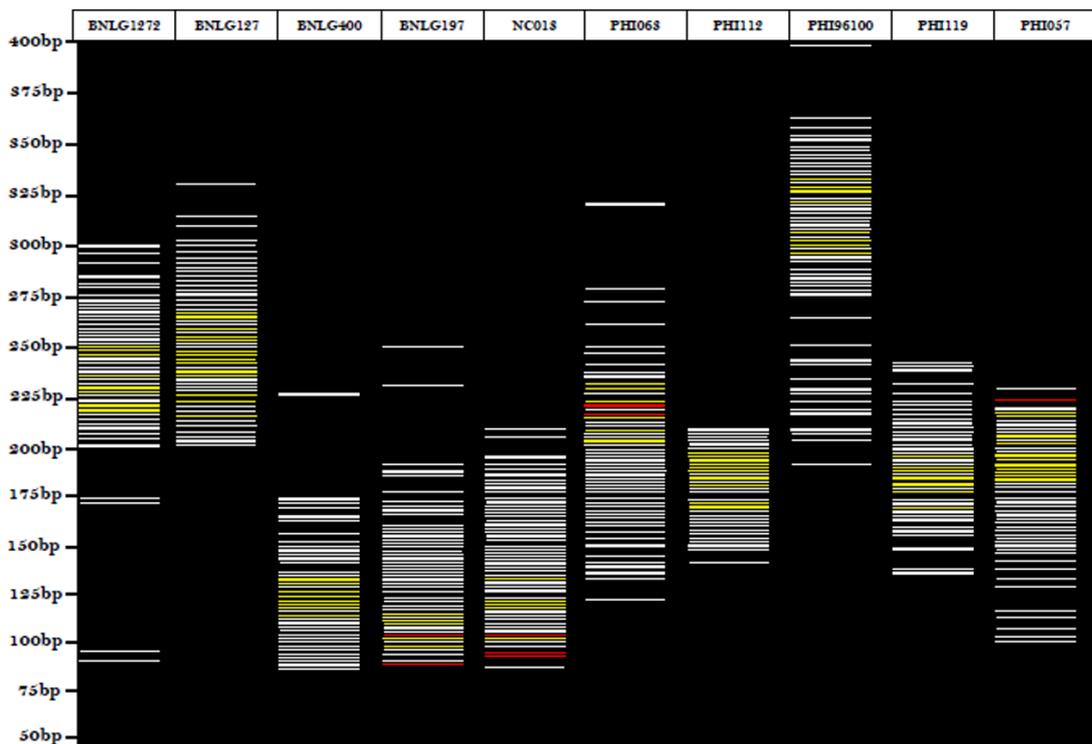
Altura de la planta: 246 cm
Textura de la semilla: cristalina
Número de mazorcas por planta: 1
Peso de 100 semillas: 39,125 g
Días a floración masculina: 61
Días a floración femenina: 63

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

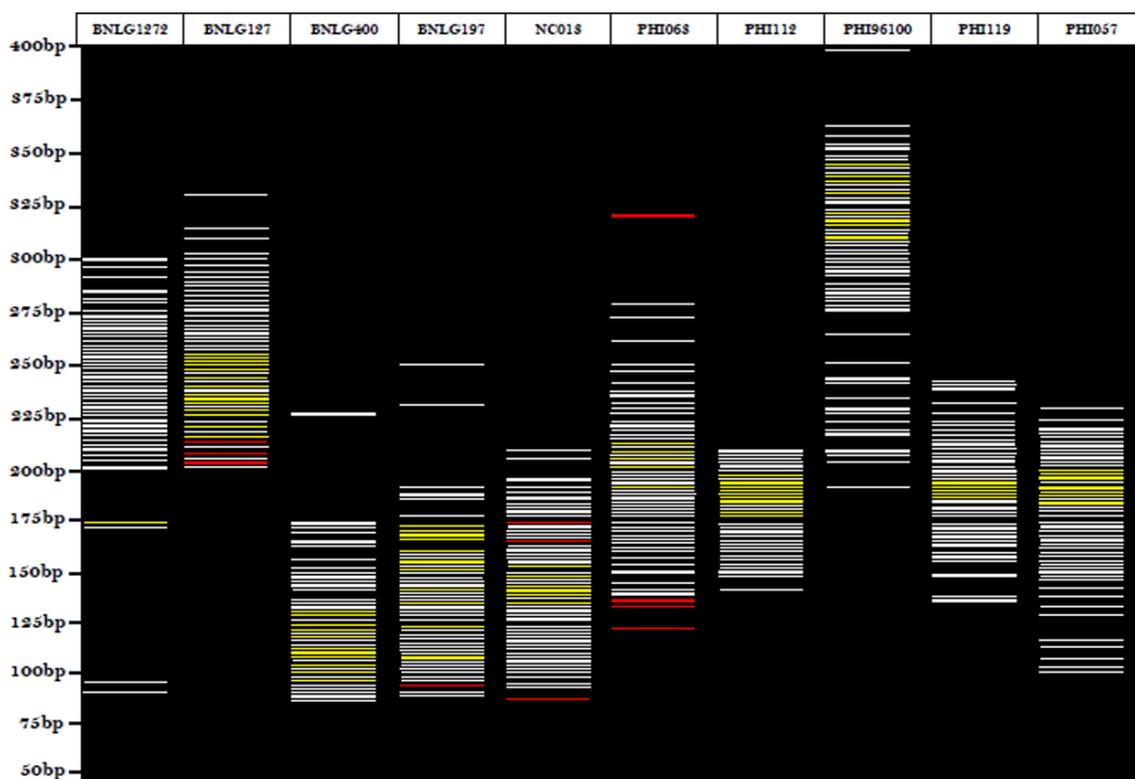
Altura de la planta: 260 cm
 Textura de la semilla: harinosa
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 27,81 g
 Días a floración masculina: 58
 Días a floración femenina: 60

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 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

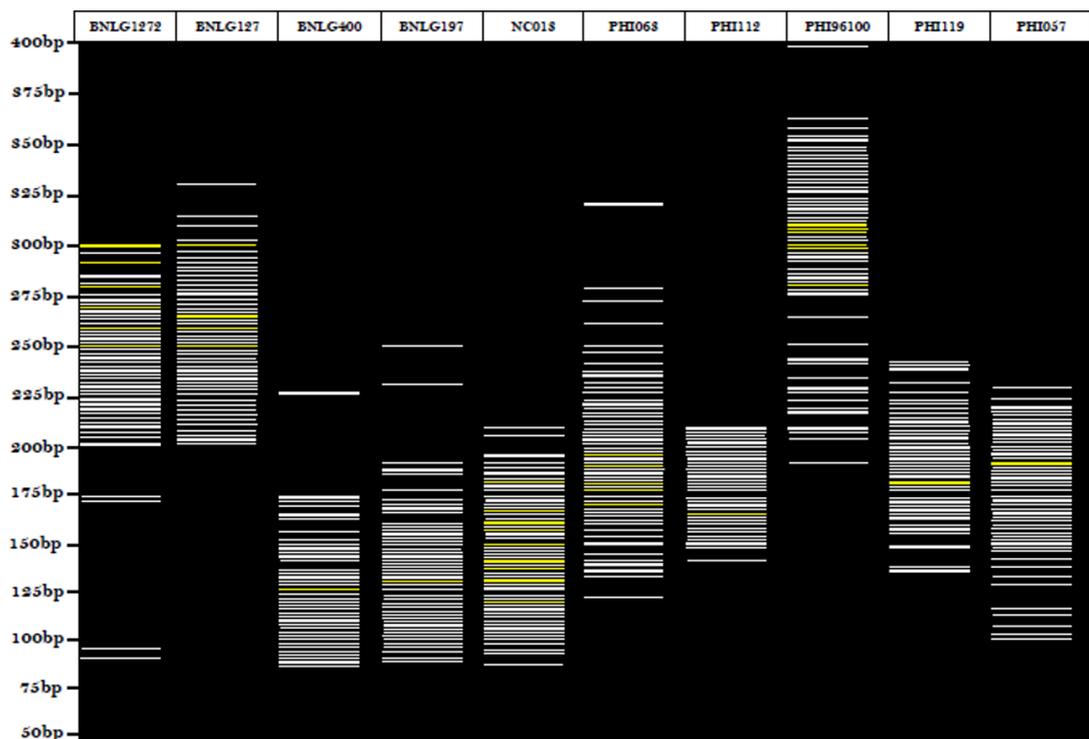
Altura de la planta: 250 cm
 Textura de la semilla: cristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 38,06 g
 Días a floración masculina: 57
 Días a floración femenina: 60

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 0340

Información general

Origen: Esquipulas, Matagalpa, Nicaragua

Coordenadas: 0631782-1406651

Altura: 478 msnm

Grupo: 5

Tipo de material: acriollado

Años de uso: 20



Características morfológicas

Altura de la planta: 259 cm

Textura de la semilla: cristalina

Número de mazorcas por planta: 1

Peso de 100 semillas: 35,87 g

Días a floración masculina: 64

Días a floración femenina: 65

Características moleculares

Número total de alelos: 82

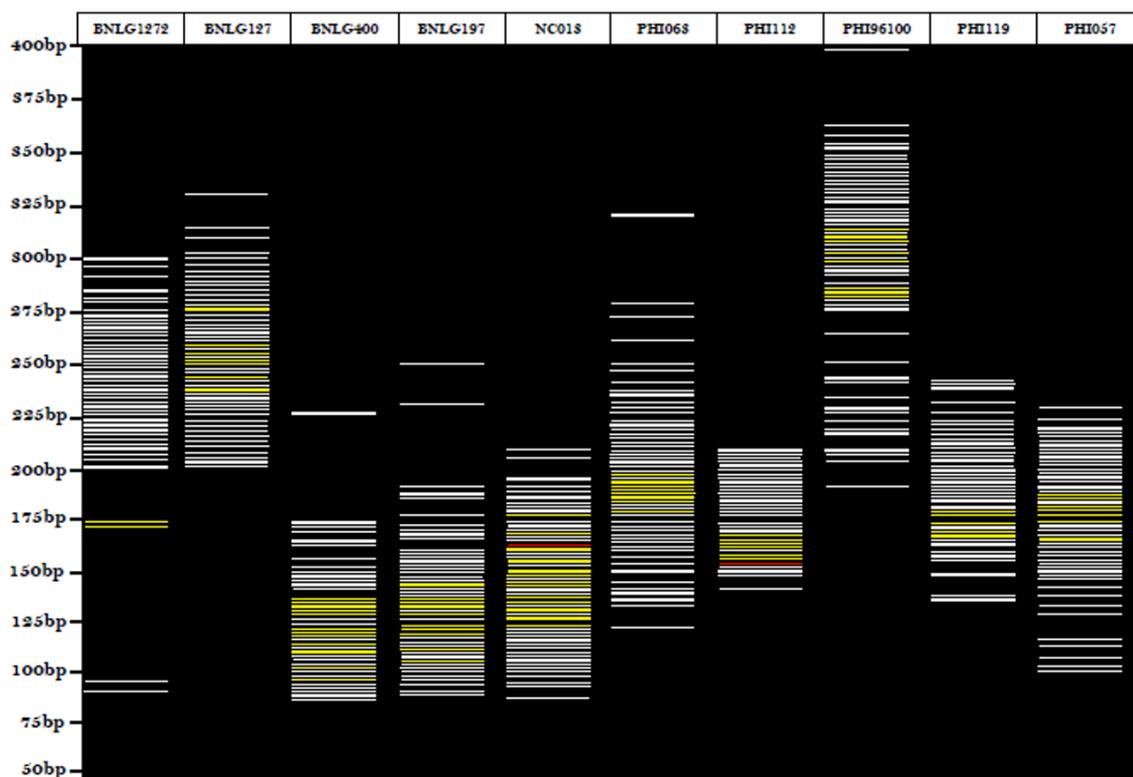
Alelos por locus: 11,7

Número de alelos únicos: 2

Loci polimórficos: 7

Características de interés según el productor

Es muy apreciado por ser tolerante a enfermedades y por tener un rendimiento aproximado de 3 873 kg/ha.



Accesión 0344

Información general

Origen: San Juan de Limay, Jinotega, Nicaragua
 Coordenadas: 546451-1462789
 Altura: 382 msnm
 Grupo: 1
 Tipo de material: criollo
 Años de uso: 10



Características morfológicas

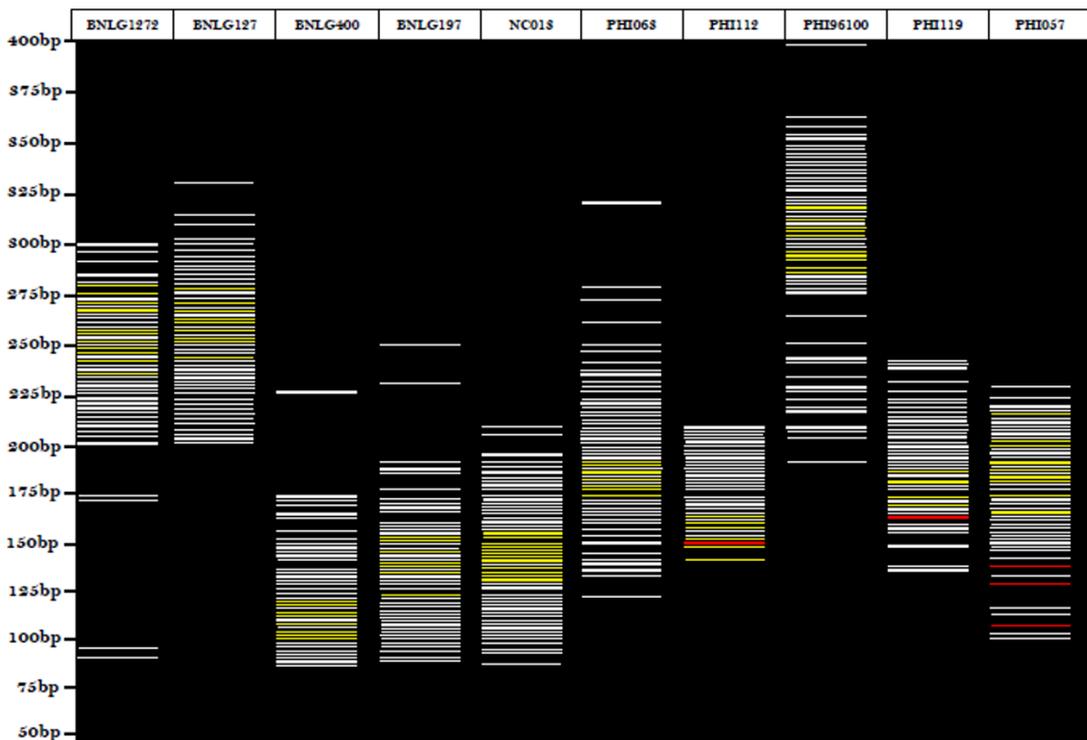
Altura de la planta: 221 cm
 Textura de la semilla: semicristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 35,31 g
 Días a floración masculina: 55
 Días a floración femenina: 56

Características moleculares

Número total de alelos: 31
 Alelos por locus: 6,2
 Número de alelos únicos: 0
 Loci polimórficos: 5

Características de interés según el productor

Es preferido por su capacidad de producir entre tres y cuatro chilotes. Planta de porte alto ideal para forraje. Rendimiento aproximado de 2 582 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

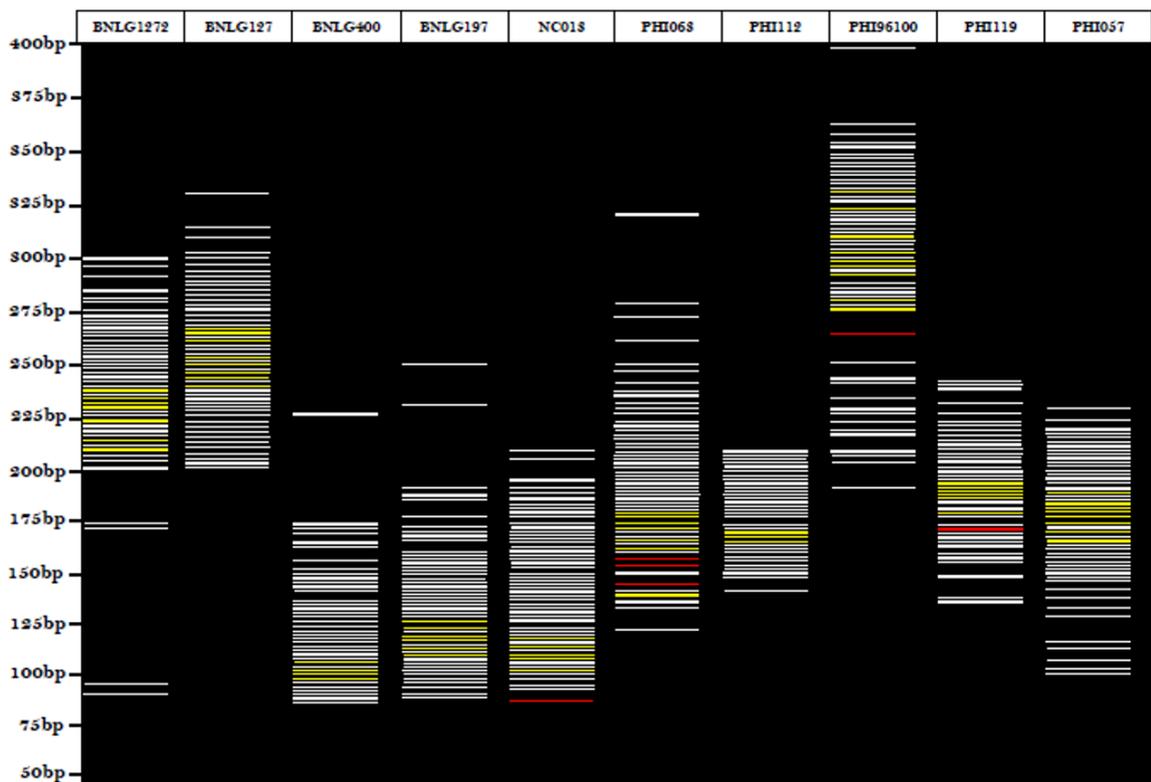
Alelos por locus: 17,8

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

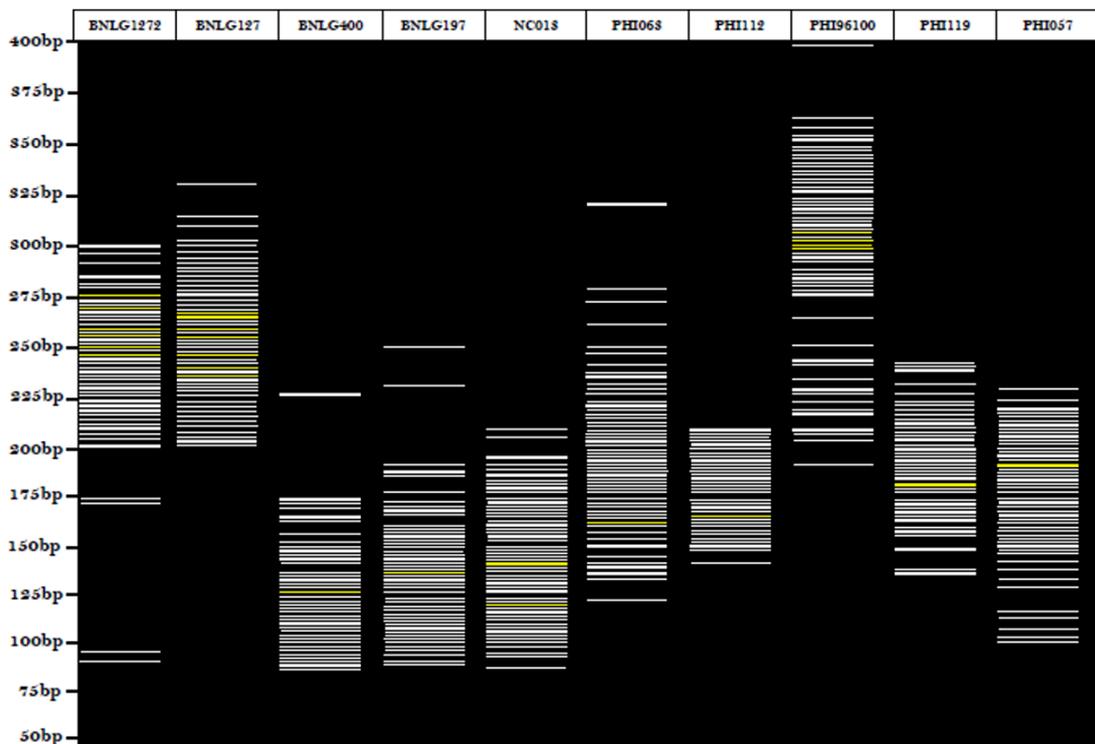
Altura de la planta: 246 cm
 Textura de la semilla: cristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 27,75 g
 Días a floración masculina: 51
 Días a floración femenina: 53

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

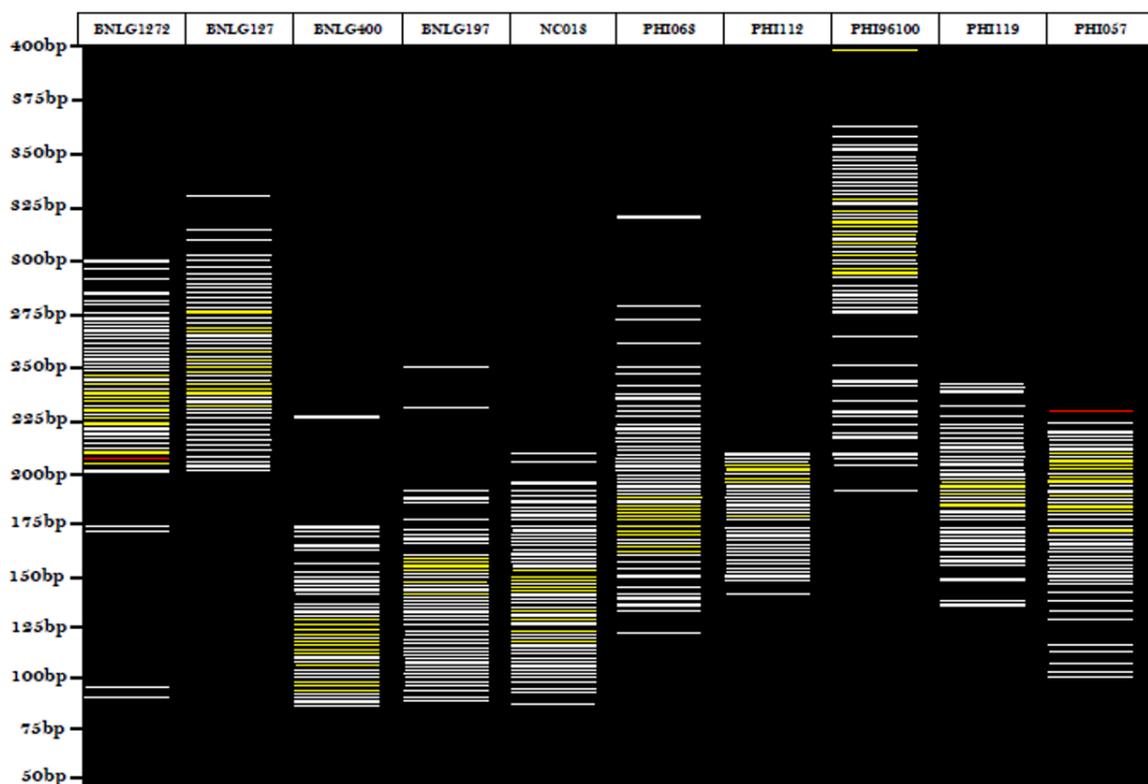
Altura de la planta: 152 cm
 Textura de la semilla: cristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 29,87 g
 Días a floración masculina: 58
 Días a floración femenina: 59

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

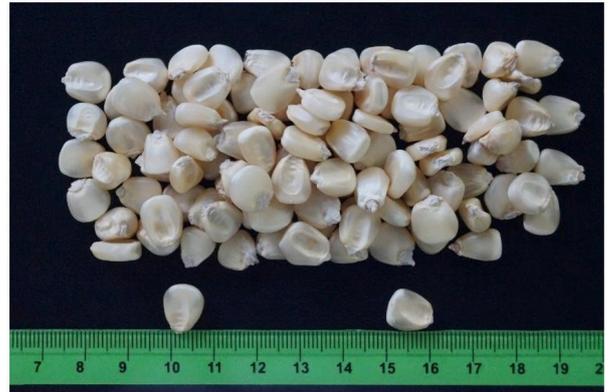
Es preferido por su rendimiento aproximado de 1 032 kg/ha.



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

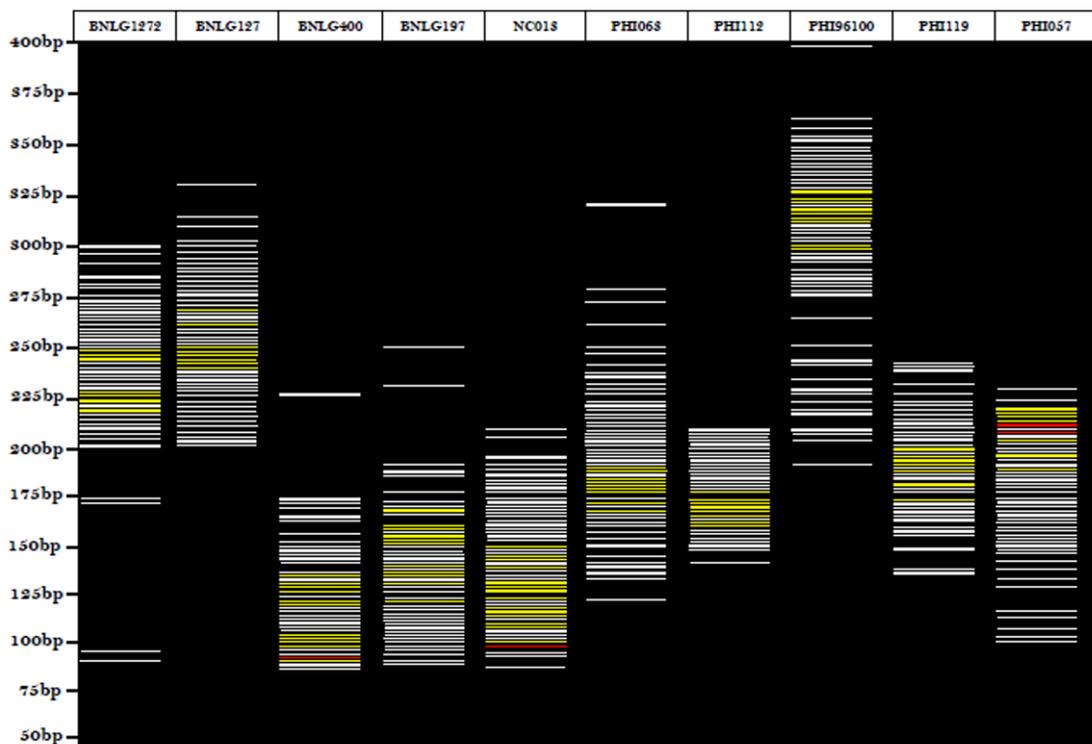
Altura de la planta: 253 cm
 Textura de la semilla: cristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 29,87g
 Días a floración masculina: 58
 Días a floración femenina: 59

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 0353

Información general

Origen: Somotillo, Chinandega, Nicaragua
 Coordenadas: 0512174-1446965
 Altura: 82 msnm
 Grupo: 2
 Tipo de material: criollo
 Años de uso: sin información



Características morfológicas

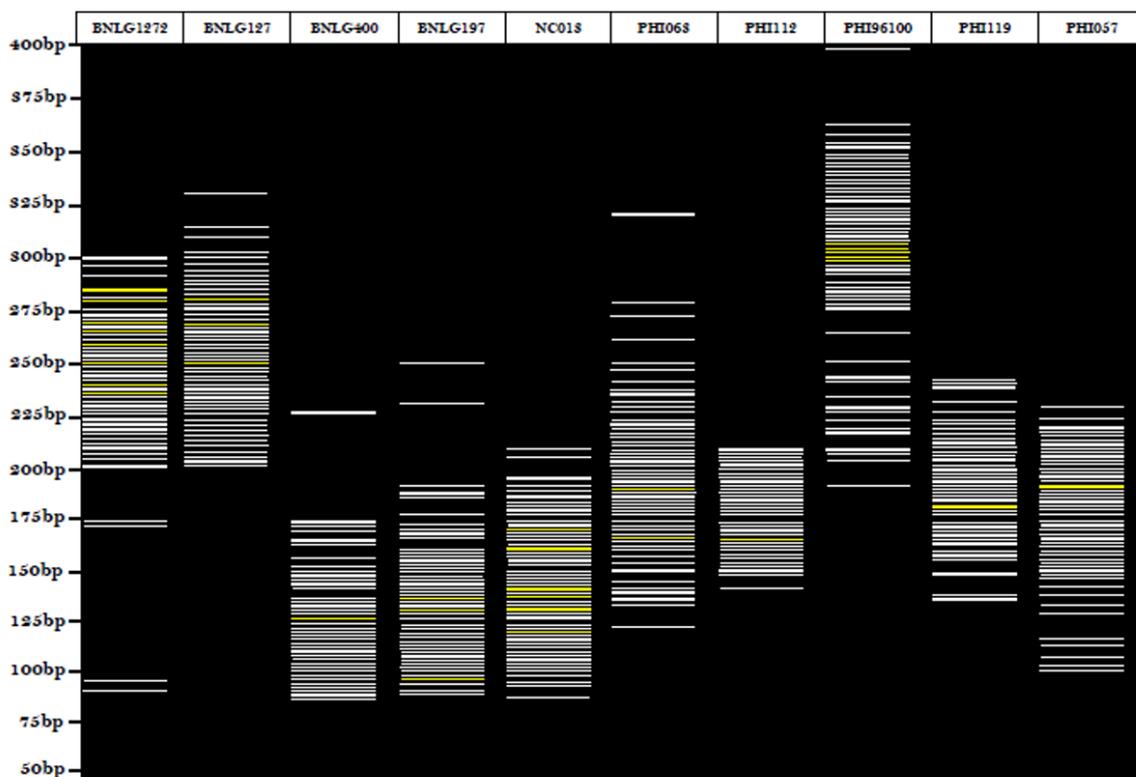
Altura de la planta: 208 cm
 Textura de la semilla: harinosa
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 29,75 g
 Días a floración masculina: 51
 Días a floración femenina: 50

Características moleculares

Número total de alelos: 31
 Alelos por locus: 7,8
 Número de alelos únicos: 0
 Loci polimórficos: 4

Características de interés según el productor

Es preferido por su rendimiento aproximado de 1 291 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

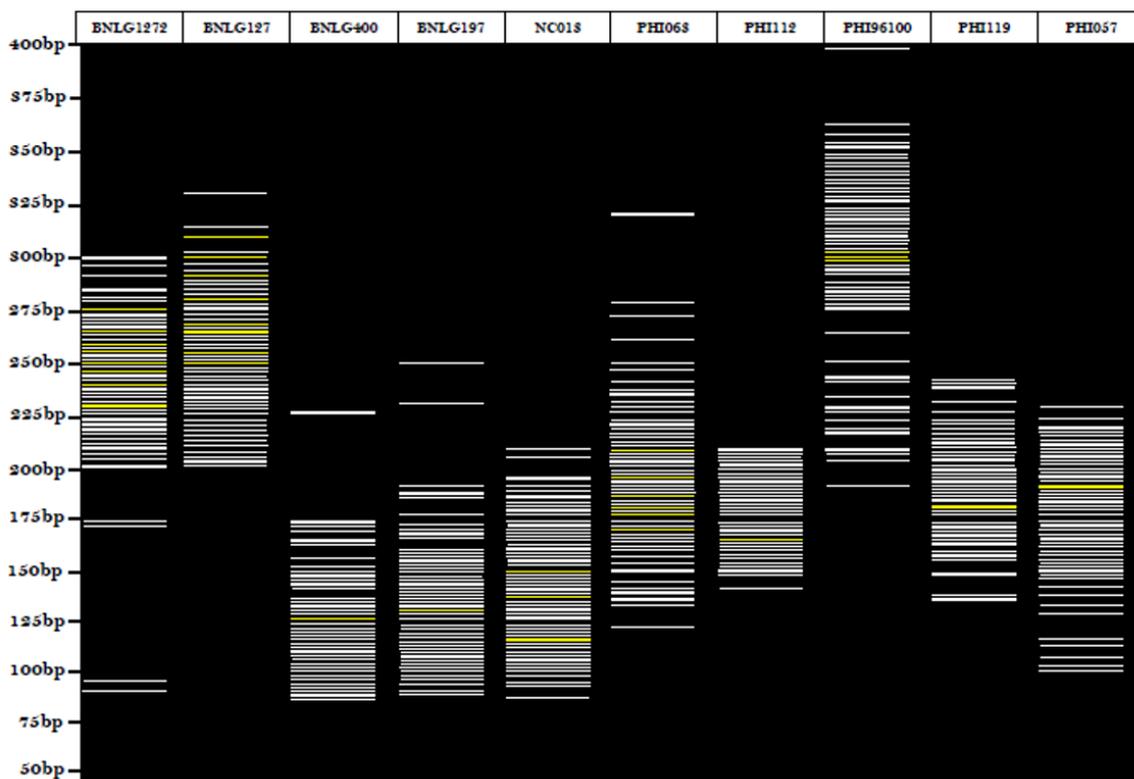
Altura de la planta: 245 cm
 Textura de la semilla: cristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 25,78 g
 Días a floración masculina: 62
 Días a floración femenina: 63

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

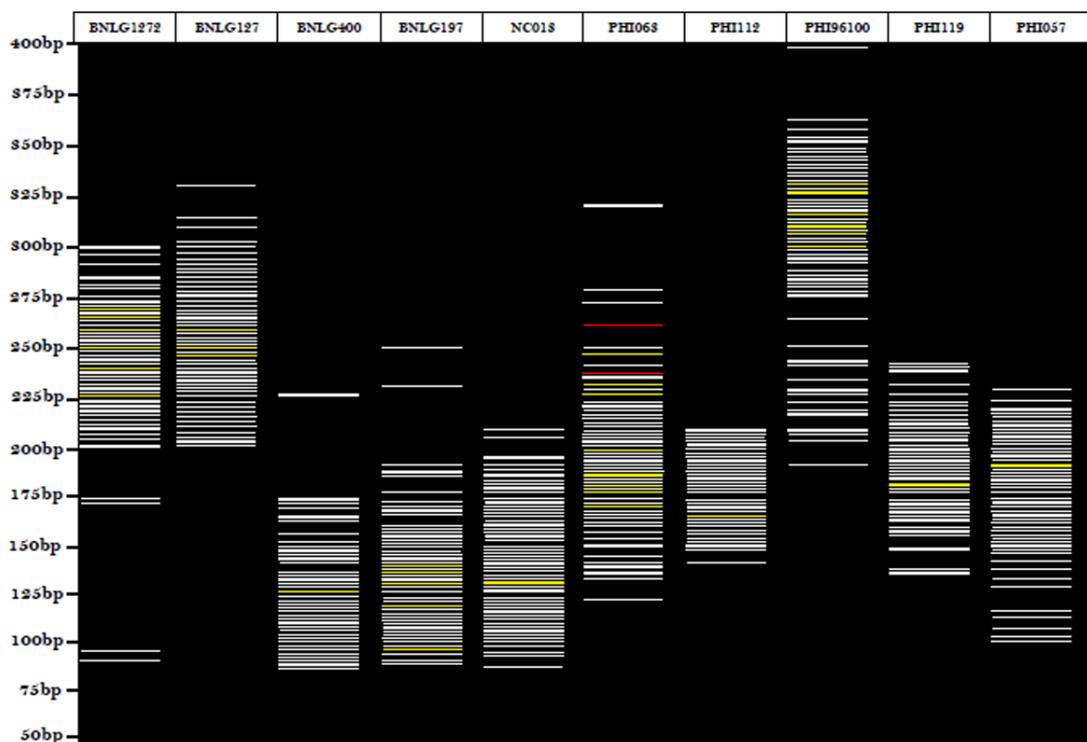
Altura de la planta: 278 cm
 Textura de la semilla: semicristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 36,62 g
 Días a floración masculina: 58
 Días a floración femenina: 60

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

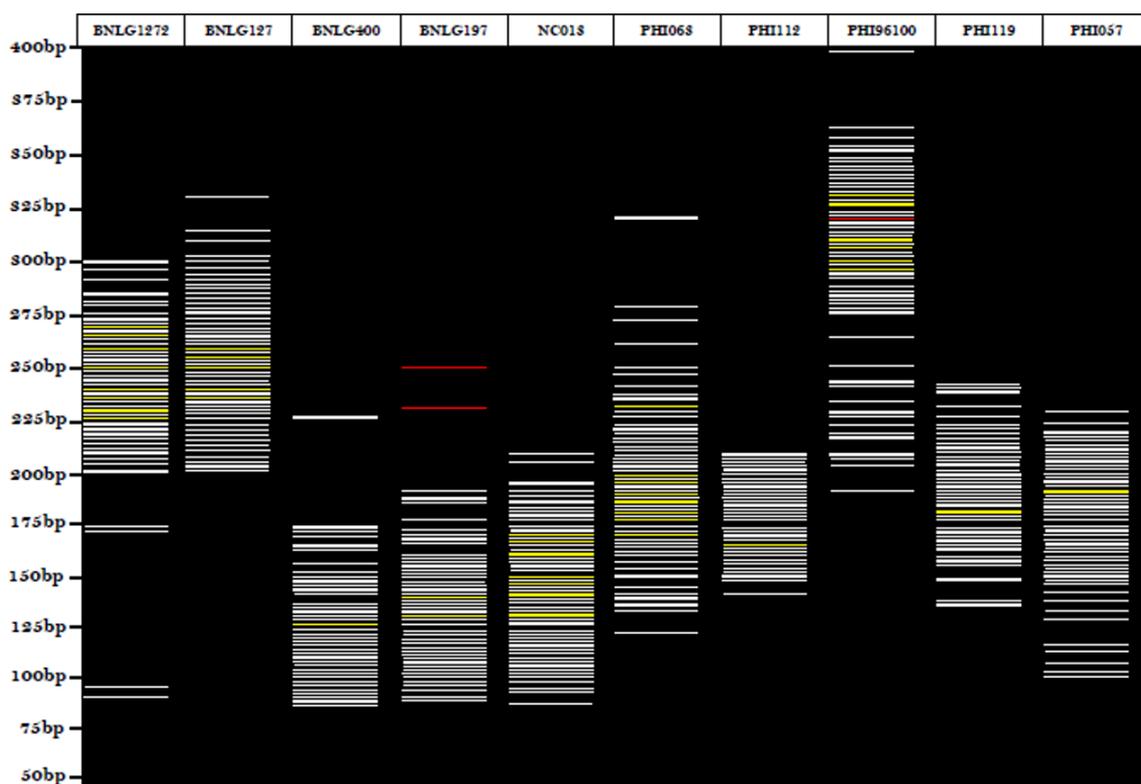
Altura de la planta: 278 cm
 Textura de la semilla: cristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 29 g
 Días a floración masculina: 68
 Días a floración femenina: 70

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

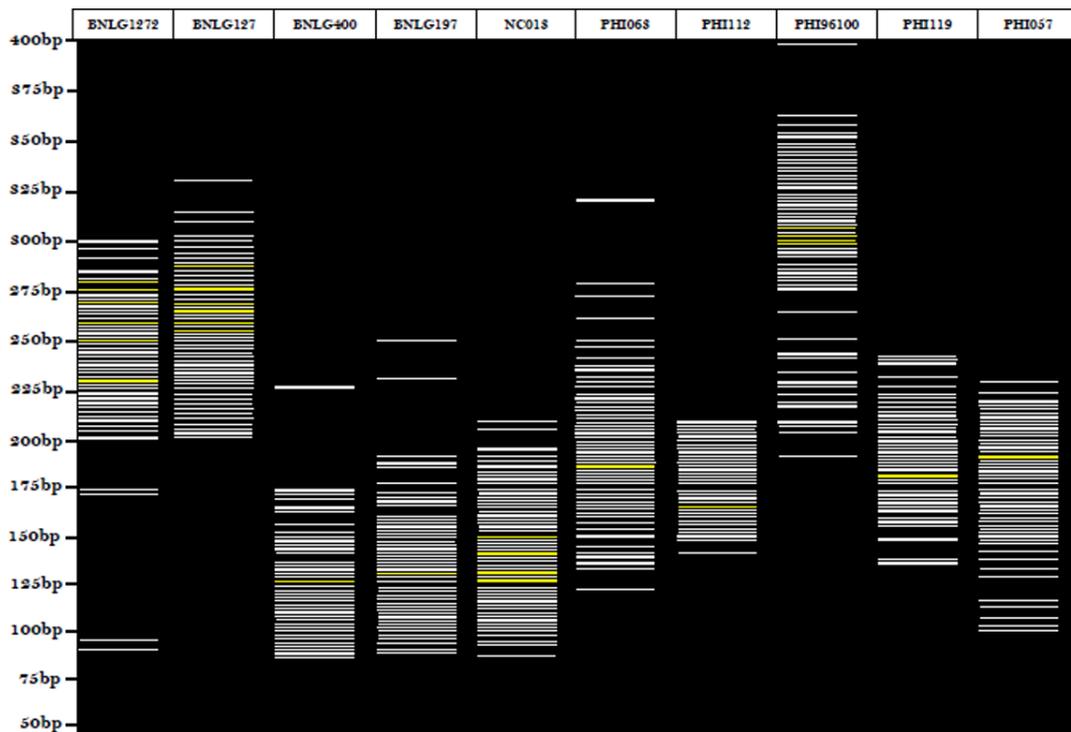
Alelos por locus: 8,7

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 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

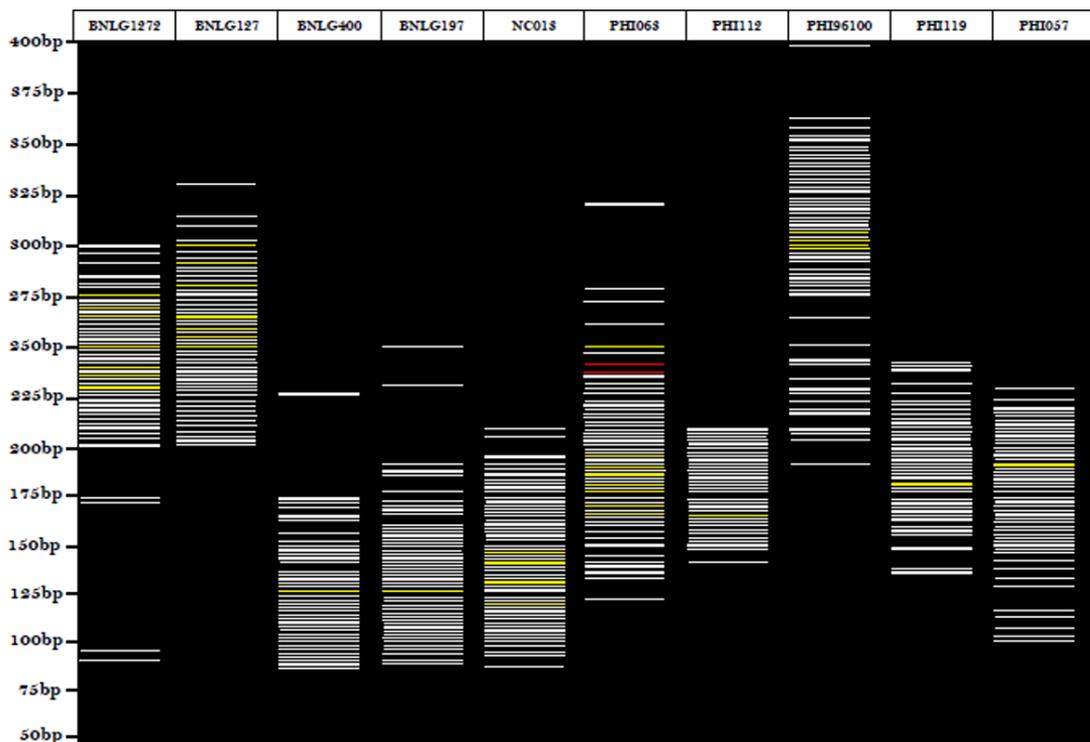
Altura de la planta: 255 cm
 Textura de la semilla: harinosa
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 35,31 g
 Días a floración masculina: 50
 Días a floración femenina: 49

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

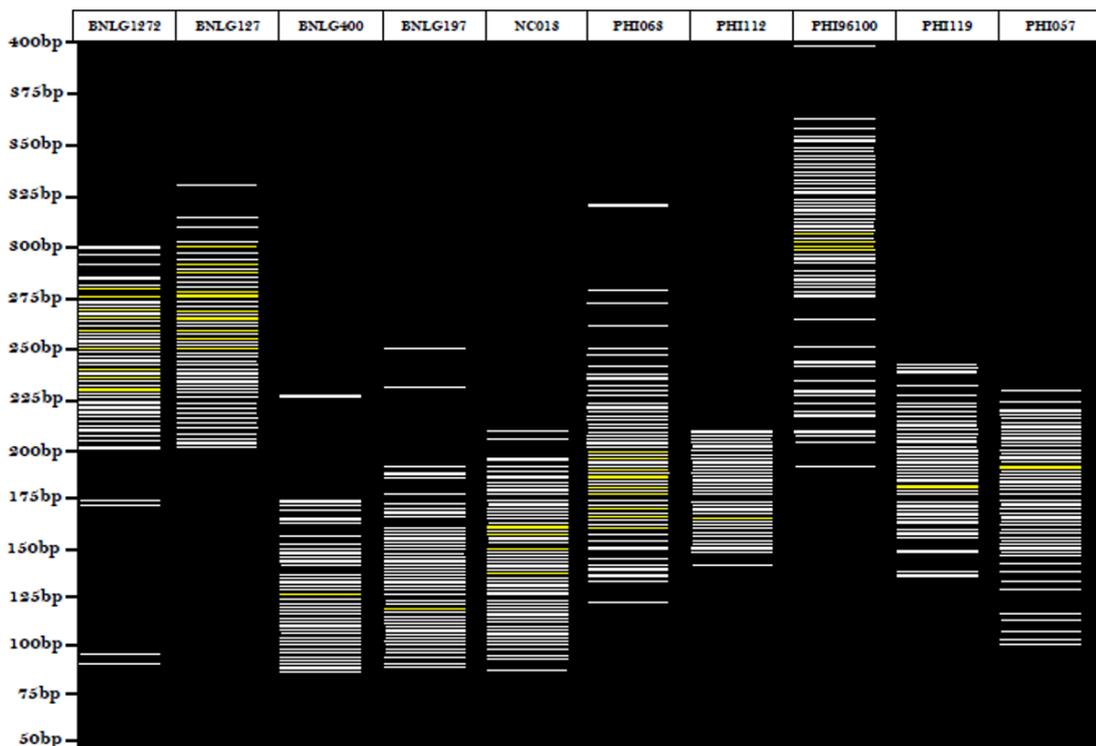
Altura de la planta: 262 cm
 Textura de la semilla: semicristalina
 Número de mazorcas por planta: 1
 Peso de 100 semillas: 33,43 g
 Días a floración masculina: 59
 Días a floración femenina: 61

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 **las** 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 podrían ser en un futuro fuentes de genes importantes en programas de **mejoramiento**. 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 poblacion**es**.



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.

