



CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA EN TRES POBLACIONES DE GUAYABO (*Psidium guajava* L.)

Characterization of genetic diversity in three guava (*Psidium guajava* L.) populations

Leneidy Pérez Pelea^{1✉}, Antonio Sigarroa González¹, Evelyn Bandera Fernández¹, Narciso N. Rodríguez Medina², María T. Cornide³ y Jesús E. Sánchez García⁴

ABSTRACT. Guava (*Psidium guajava* L.) is an economically important fruit tree in several countries, where breeding programs are being developed with different objectives. Evaluations on the genetic variability of crop germplasm collections have been performed in some of these countries; however, the variability present in guava populations had not been evaluated so far. Ten quantitative morphoagronomic traits were assessed for three years in parents and progenies of three guava populations, with the aim of characterizing the genetic diversity of such populations derived from controlled crossings. Main component analysis clusters and discriminant factorials were made in order to determine the highest variability characters that allow making up diversity groups and confirming if there are differences among them. Significant differences were also determined among populations for the characters: leaf length and width, plant height, fruit length and width, external and internal pulp thickness, and seed number per fruit. Fruit characters were the greatest contributors to the variability observed. Regarding dendrograms obtained, four diversity groups were formed in each population, mainly based on fruit mass, length and width, seed number and its total mass per fruit. All the results allowed detecting high population variability for the traits evaluated.

RESUMEN. El guayabo (*Psidium guajava* L.), es un frutal de gran importancia económica en diversos países, en los cuales se están desarrollando programas de mejoramiento genético, con distintos objetivos. En varios de estos países, se han realizado evaluaciones de la variabilidad genética presente en colecciones de germoplasma del cultivo; sin embargo, hasta la fecha no se había realizado ninguna evaluación de la variabilidad presente en poblaciones del cultivo. Con el objetivo de caracterizar la diversidad genética presente en tres poblaciones de guayabo, obtenidas a partir de cruzamientos controlados, se evaluaron diez caracteres morfoagronómicos cuantitativos durante tres años, en los progenitores y los descendientes de las poblaciones. Se realizaron análisis de componentes principales, de agrupamientos y factoriales discriminantes, para determinar los caracteres de mayor variabilidad que permiten la formación de grupos de diversidad en las poblaciones y corroborar si hay diferencias entre los grupos formados. También se determinó que existían marcadas diferencias entre las tres poblaciones para los caracteres: largo y ancho de la hoja, altura de la planta, largo y ancho del fruto, espesor externo e interno de la pulpa y número de semillas por fruto; los caracteres del fruto son los de mayor contribución a la variabilidad detectada. En los dendrogramas obtenidos se observó la formación de cuatro grupos de diversidad, en cada una de las poblaciones, atendiendo principalmente a los caracteres: masa, largo, ancho del fruto, número y masa total de las semillas por fruto. La integración de los resultados permitió detectar una alta variabilidad en las tres poblaciones, para los caracteres evaluados.

Key words: genetic variability, genetic breeding, tropical fruit trees, diversity groups

Palabras clave: variabilidad genética, mejoramiento genético, frutales tropicales, grupos de diversidad

¹ Universidad de la Habana (UH), calle 25 # 455 / I y J, Plaza de Revolución, La Habana, Cuba.

² Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical (IIFT), ave. 7ma # / 30 y 32, Playa, La Habana, Cuba.

³ Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Cuba.

⁴ Instituto de Cibernética, Matemática y Física, calle 15 #551 / C y D, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba.

✉ lene@fbio.uh.cu

INTRODUCCIÓN

El guayabo (*Psidium guajava* L.) es uno de los frutales tropicales y subtropicales de mayor importancia económica, el cual se cultiva con fines comerciales en más de 60 países (1). Pertenece a la familia Myrtaceae, que incluye entre 130 y 150 géneros^A, con más de 5000 especies, pocas de las cuales producen frutos comestibles (2). Este frutal es importante desde un punto de vista comercial, debido fundamentalmente al alto valor nutricional de sus frutos, que tienen elevados contenidos de vitaminas A, B y C, fibra dietética y ácido fólico (3). Sus frutos son utilizados, no sólo para el consumo en fresco, sino también como fuente importante de materias primas para la industria de jugos, néctares, helados, jaleas y dulces.

A pesar de su importancia, la conservación del germoplasma de este frutal está aún restringida, lo cual compromete su sustentabilidad. En América Latina y el Caribe existe más del 67 % de los genotipos mantenidos en colecciones en el planeta. Países como: Brasil, Cuba, Costa Rica, la India, México, Puerto Rico y Venezuela, realizan grandes esfuerzos para conservar en varias instituciones de enseñanza e investigación el germoplasma de la especie (4).

Aunque el mejoramiento selectivo de cultivares de guayabo comenzó hace casi un siglo, la facilidad de dispersión de sus semillas y su alto nivel de heterocigosidad, impiden preservar los cultivares mejorados sin cambios significativos de sus atributos. Existen probablemente más de 400 cultivares de guayabo en el mundo, pero sólo unos pocos se cultivan con fines comerciales (5).

En Cuba, este frutal ha adquirido una gran importancia en las últimas décadas, debido a lo rentable de su cultivo, su alta demanda interna y sus potencialidades de exportación. Los rendimientos se han visto favorecidos a partir de la siembra de cultivares con alto potencial productivo como la 'Enana Roja Cubana' ('EEA 18-40'), que tiene rendimientos superiores a las 70 toneladas por hectáreas con una producción continua durante todo el año y dos períodos de producción máxima.

La 'Enana Roja Cubana' constituye el principal cultivar en explotación comercial y el patrón a mejorar por productores y especialistas del cultivo, debido a sus características morfoagronómicas distintivas de porte bajo y altos rendimientos (6). Por esta razón, ha sido utilizado como progenitor femenino en varios programas de cruzamientos, realizados con el objetivo de obtener y evaluar nuevos genotipos, que manifiesten características de interés para el mejoramiento, como porte bajo, alta productividad

y frutos con altos contenidos de vitamina C, acidez y sólidos solubles totales, grandes, redondeados, homogéneos, con elevado espesor externo de la pulpa, bajo número y masa de las semillas, los cuales pueden ser considerados de buena calidad para la industria y para el consumo en fresco.

Partiendo de estos antecedentes, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la diversidad genética de las poblaciones resultantes de cruzamientos entre los cultivares de guayabo (*Psidium guajava* L.): 'Enana Roja Cubana' (progenitor femenino) y 'N6', 'Suprema Roja' y 'Belic L-207' (progenitores masculinos), a partir de caracteres morfoagronómicos cuantitativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIAL VEGETAL

Como material vegetal se utilizaron tres poblaciones de guayabo (*Psidium guajava* L.), obtenidas a partir de cruzamientos intraespecíficos realizados mediante polinización controlada, en la Unidad Científico-Tecnológica de Base (UCTB) de Alquizar, provincia Artemisa, perteneciente al Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical (IIFT) de Cuba, en el año 2001. La UCTB se encuentra ubicada en los 22° 47' de latitud norte y los 82° 31' de longitud oeste, a 11 m sobre el nivel del mar, sobre un suelo Ferralsol éutrico, con una topografía llana de pendiente cero (7).

Para la realización de los cruzamientos, se utilizaron como progenitores femeninos, tres plantas del cultivar 'Enana Roja Cubana' ('EEA 18-40') y como progenitores masculinos se emplearon los cultivares: 'N6', 'Suprema Roja' y 'Belic L-207'. Estos cultivares fueron seleccionados como progenitores, por presentar gran variabilidad genotípica y fenotípica.

De las semillas obtenidas en cada cruzamiento, se seleccionaron 100 por cada uno, y se sembraron en semilleros. Posteriormente se trasplantaron a bolsas individuales de 26 x 46 cm que contenían suelo Ferralsol éutrico y materia orgánica (cachaza) a la relación 3:1. Cuando las plantas tenían entre 50 y 60 cm de altura se plantaron en la UCTB, siguiendo un marco de plantación de 6 x 5 m. Las tres poblaciones se plantaron de forma adyacente una a la otra, formando un bloque compacto en el mismo lote, junto a los progenitores.

Las plantas se mantuvieron con riego por goteo con emisores marca RAM de 2,3 L h⁻¹, espaciados a 0,65 m dentro de un lateral de 20 mm de diámetro. El riego se aplicó con dosis fijas e intervalos fijos (días alternos) y fue suspendido durante los eventos de fuertes lluvias. Las labores culturales, la fertilización y el control fitosanitario fueron realizados según el Instructivo técnico del cultivo (8).

^AFaruk, O. *Morphological characterization of guava germplasm*. Tesis de Maestría, Universidad Agrícola de Bangladesh, 2012, 54 p.

EVALUACIÓN DE CARACTERES CUANTITATIVOS EN LAS TRES POBLACIONES DE GUAYABO (*PSIDIUM GUAJAVA* L.)

En las tres poblaciones obtenidas, se evaluaron diez caracteres cuantitativos de los propuestos por la Unión Internacional para la Protección de Nuevas Variedades de Plantas (UPOV) (9), y de los que aparecen en la Colección cubana de germoplasma de guayabo (10), como descriptores. Los caracteres evaluados fueron: largo y ancho de la lámina de la hoja; altura de la planta; masa, largo y ancho del fruto; espesor externo e interno de la pulpa; número y masa total de las semillas por fruto. Los mismos fueron seleccionados atendiendo a su grado de importancia para el mejoramiento y la comercialización de la especie, y fueron también utilizados por otros investigadores (11) para la caracterización de la colección cubana de germoplasma del cultivo. Las mediciones se realizaron teniendo en cuenta las recomendaciones del descriptor del cultivo publicado por la UPOV (9).

Las plantas se comenzaron a evaluar a los cinco años de edad, a partir del año 2006, y se realizaron mediciones durante tres años consecutivos (2006-2008) en las tres poblaciones. Los caracteres se evaluaron en los progenitores y los descendientes de cada cruzamiento y los caracteres vegetativos en el período marzo-abril, en regiones equivalentes de las plantas, y los caracteres del fruto en el período agosto-septiembre, que es el pico de cosecha de verano. Los frutos se cosecharon en su madurez fisiológica y fueron evaluados en completa maduración, dos o tres días después de cosechados.

CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA EN LAS TRES POBLACIONES DE GUAYABO, A TRAVÉS DE CARACTERES CUANTITATIVOS

Se realizó en primer lugar, un análisis factorial discriminante, con los datos obtenidos en las mediciones de los caracteres cuantitativos en las tres progenies, sin incluir los valores obtenidos en los progenitores. Posteriormente, para cada población, se realizó un análisis de componentes principales basado en la matriz de correlación de Pearson. Se determinó tomar como valores significativos, aquellos que fueran mayores que la mitad del mayor valor absoluto en cada componente.

Con los caracteres seleccionados en cada población, se realizaron análisis de conglomerados a partir de una matriz de distancias euclidianas y el método de agrupamiento de varianza mínima de Ward, para la construcción del dendrograma. Los grupos de diversidad se determinaron tomando en consideración el 70 % de similitud, en cada una de las poblaciones. Además, se realizó el método de

agrupamiento de K-medias para buscar cuáles eran los caracteres que más contribuían a la formación de los grupos. Con los grupos formados, se realizaron análisis factoriales discriminantes con el propósito de corroborar dichos grupos y detectar los caracteres que permiten diferenciar los grupos generados. Los análisis estadísticos se realizaron en el programa STATISTICA versión 8.0 (12).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis factorial discriminante realizado permitió detectar la existencia de marcadas diferencias entre las poblaciones para los caracteres cuantitativos evaluados, pues se obtuvo un valor significativo del estadístico Lambda de Wilks. Los grupos se formaron con un 74,07 % de confiabilidad, el cual no es muy alto debido a que en los tres cruzamientos se emplearon como progenitores femeninos, plantas del mismo cultivar ('EEA 18-40'), o sea, tenían una madre común. Sin embargo, se considera como un valor de por ciento de confiabilidad aceptable, porque el objetivo por el cual se realizó este análisis era determinar si existían diferencias entre las tres progenies obtenidas, para los caracteres cuantitativos evaluados, lo cual se pudo verificar con el resultado del análisis discriminante, a pesar de ser progenies de medios hermanos. Cada grupo del análisis representa la progenie obtenida en uno de los cruzamientos, los cuales se reconocen con un color diferente en la Figura 1.

Además, se determinó que los caracteres: largo y ancho de la hoja, altura de la planta, largo y ancho del fruto, espesor externo e interno de la pulpa y número de semillas por fruto, fueron los que mejor diferenciaron entre sí a las tres progenies; por tanto, eran los caracteres que presentaban una mayor variabilidad entre las tres progenies. A partir de estos resultados, se procedió a realizar un estudio de la diversidad genética, en cada una de las tres poblaciones por separado, con el objetivo de determinar los caracteres de mayor contribución a la variabilidad observada dentro de cada población, agrupar los genotipos y caracterizar los grupos en calidad de fondos de diversidad.

Al realizar los análisis de componentes principales con los 10 caracteres cuantitativos evaluados, se logró explicar el 59,35, el 58,06 y el 61,17 % de la variabilidad total con los dos primeros componentes, en las poblaciones 1, 2 y 3, respectivamente (Tabla). Resultados similares fueron obtenidos por otros autores (13), en la evaluación de accesiones del género *Psidium*, con el empleo de caracteres morfológicos y bioquímicos, logrando explicar un 58,4 % de la variabilidad con los dos primeros componentes principales.

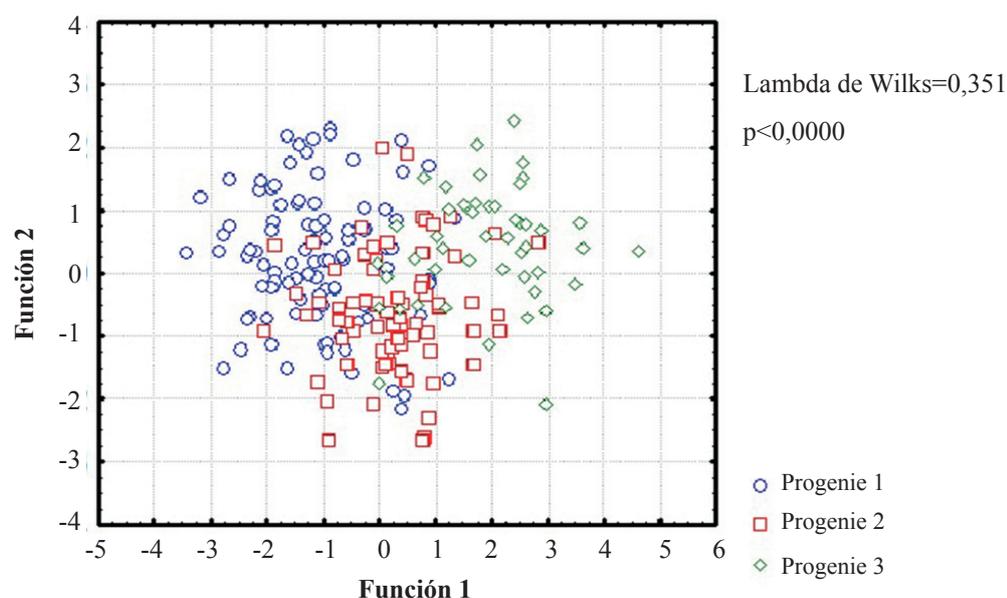


Figura 1. Distribución de las tres progenies de guayabo, en el plano de las dos primeras funciones discriminantes, para los caracteres cuantitativos evaluados

Tabla. Autovalores (%), por cientos acumulados y valores de los vectores propios obtenidos en el análisis de componentes principales realizado con los caracteres cuantitativos en las tres poblaciones de guayabo

Componentes	Población 1		Población 2		Población 3	
	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂
Autovalores %	3,865	2,070	3,314	2,495	3,416	2,702
% acumulado	38,65	20,70	33,14	24,95	34,16	27,02
Vectores propios	38,65	59,35	33,14	58,09	34,16	61,17
Caracteres vegetativos	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂
Largo de la hoja	-0,0237	-0,0880	0,0652	0,2032	-0,1189	-0,1589
Ancho de la hoja	-0,0627	0,0603	0,0624	0,2260	-0,1580	-0,1802
Altura de la planta	0,0500	0,2480	0,0449	-0,0992	0,0107	-0,1771
Caracteres del fruto						
Masa del fruto	-0,5013	-0,0898	-0,5049	0,2098	-0,5149	-0,0772
Largo del fruto	-0,4200	-0,2395	-0,3164	0,3637	-0,3325	-0,2985
Ancho del fruto	-0,4936	-0,0147	-0,4905	0,0556	-0,4879	0,1065
Espesor externo pulpa	-0,3838	-0,3825	-0,2626	0,5046	-0,3987	-0,2699
Espesor interno pulpa	-0,3196	0,4002	-0,3570	-0,3965	-0,2595	0,4223
Número de semillas	-0,1103	0,5586	-0,2657	-0,4284	-0,1823	0,3622
Masa total de las semillas	-0,2450	0,4930	-0,3566	-0,2692	-0,2960	0,4013

Se resaltan en negritas los caracteres de mayor contribución en cada componente

En Brasil, (2) emplearon también el análisis de componentes principales para seleccionar los caracteres cuantitativos de las hojas y frutos de mayor importancia, al realizar un estudio de las divergencias genéticas en cultivares de guayabo. Estos autores lograron explicar un 75,60 % de la variabilidad con solo las dos primeras componentes principales

A partir de los resultados obtenidos con el análisis de componentes principales, se seleccionaron los caracteres de mayor contribución a la variabilidad, que resultaron ser los referentes al tamaño y forma del fruto en las tres poblaciones (Tabla). Algunos de estos caracteres, como: el ancho del fruto, el espesor de la pulpa, el número de semillas por fruto y la masa de las semillas, se encontraban entre los seleccionados^B, al caracterizar accesiones de guayabo (*Psidium guajava* L.) en el banco de germoplasma de Cuba y en la evaluación de cultivares en Brasil (2).

El porcentaje de variabilidad explicado con sólo dos componentes, fue superior al encontrado por otros autores que incluyeron algunos de los caracteres cuantitativos evaluados en este estudio, en la caracterización de accesiones de guayabo en México (14), Colombia (15), Pakistán (16) y Cuba^B, los cuales necesitaron más de cuatro componentes para explicar alrededor del 60 % de la variabilidad. Los resultados también difieren de los presentados por varios autores serbios al evaluar la diversidad genética en genotipos de durazno (*Prunus persica* spp. *vulgaris* Mill.) (17) y en cultivares de manzano (*Malus* sp.) (18). Todos estos autores evaluaron la diversidad genética en accesiones o cultivares del cultivo en cuestión; sin embargo, no se conoce un estudio diseñado para estimar la diversidad genética presente en poblaciones obtenidas de cruzamientos dirigidos, previo al desarrollado en el presente trabajo.

A partir de los resultados obtenidos en los análisis de componentes principales, se realizaron análisis de conglomerados con los caracteres del fruto, que fueron los de mayor contribución a la variabilidad en las tres poblaciones. El análisis permitió la formación de cuatro grupos de diversidad, en cada una de las poblaciones, teniendo en cuenta principalmente a la masa, el largo y el ancho del fruto, el número y la masa total de las semillas por fruto. Resultados similares se obtuvieron al realizar una caracterización morfológica de accesiones silvestres de guayabo en Colombia (15). Estos autores también obtuvieron cuatro grupos de diversidad, al realizar el análisis de conglomerados con los caracteres cuantitativos evaluados y encontraron que los caracteres: masa, largo y ancho del fruto, espesor interno de la pulpa, contenido de sólidos solubles totales y acidez, eran los de mayor contribución para la formación de los grupos de diversidad.

^B Valdés-Infante, J. *Utilización de caracteres morfoagronómicos y de marcadores de ADN para el desarrollo de una metodología que contribuya al mejoramiento genético del guayabo (Psidium guajava L.) en Cuba*. Tesis de Doctorado, Universidad de La Habana, Cuba, 2009, 131 p.

En Pakistán (16), también realizaron una evaluación de la diversidad genética presente en accesiones de guayabo, con el empleo de caracteres cuantitativos y cualitativos, muchos de los cuales coinciden con los empleados en el presente estudio. En esta evaluación se obtuvieron tres grupos de diversidad, al realizar el análisis de conglomerados utilizando también el método de agrupamiento de Ward y las distancias euclidianas. En Indonesia (19) evaluaron colecciones de germoplasma del cultivo, con el empleo de caracteres cualitativos y cuantitativos, también vegetativos y del fruto, por lo que se obtuvieron dos grupos formados con un 70 % de similitud, de manera similar al presente trabajo.

De forma general, al analizar los resultados obtenidos en los estudios antes mencionados y el presente, se puede apreciar que los caracteres del fruto presentaron mayor variabilidad que los caracteres vegetativos, por lo que tienen mayor utilidad para diferenciar y caracterizar genotipos del cultivo.

En la Figura 2 se muestra el dendrograma obtenido en la población 1, donde se observa claramente la formación de cuatro grupos. El Grupo 1 estuvo formado por los genotipos: 1, 15, 17, 18, 39, 44, 58, 64, 71, 92 y 106, que presentaron frutos medianos, con valores de peso que oscilaron entre 126,2 y 248,0 g, de forma redondeada, pues presentaban valores similares de largo (57,1-80,0 mm) y ancho del fruto (59,3-79,6 mm), y con los mayores valores de número (385 - 487) y masa total (3,23-5,38 g) de las semillas por fruto en la población.

En el Grupo 2, se encontraron los genotipos: 20, 21, 24, 27, 29, 36, 48, 53, 54, 59, 70, 85, 88, 93, 95, 97, 103 y 104, que presentaron los frutos de menor tamaño (entre 90,6 y 160,0 g) en la población, con forma redondeada (largo: 55,7-81,6 mm; ancho: 56,3-79,7 mm), y altos valores de número (275-390) y masa total (2,51 y 5,22 g) de las semillas por fruto. En el Grupo 3 encontramos los genotipos: 2, 3, 4, 5, 6, 12, 13, 14, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 43, 45, 46, 47, 49, 52, 55, 60, 65, 66, 67, 76, 78, 79, 81, 89, 94, 105, 108 y 'EEA 18-40'; que tenían los frutos más grandes en la población, con valores de la masa del fruto entre 175,8 y 266,4 g, con los valores más altos de largo (70,6-88,2 mm) y ancho (65,2-77,1 mm) del fruto, de forma alargada (mayores valores de largo del fruto con relación al ancho), semillas de mediano tamaño (2,54-4,33 g) y número de medio a alto (entre 210-343); son los genotipos que más se parecen a la madre, la cual se incluye en el grupo. En el Grupo 4 quedaron los genotipos: 7, 8, 9, 10, 11, 23, 26, 50, 51, 56, 57, 68, 69, 73, 77, 80, 83, 86, 87, 90, 91, 98, 99, 100, 101, 110 y 'N6', que presentaban frutos medianos (121,2-207,1 g), alargados (largo: 58,8-81,8 mm; ancho: 59,5-73,7 mm), y con los menores valores de número (116-249) y masa total (1,55-3,15 g) de las semillas por fruto en la población.

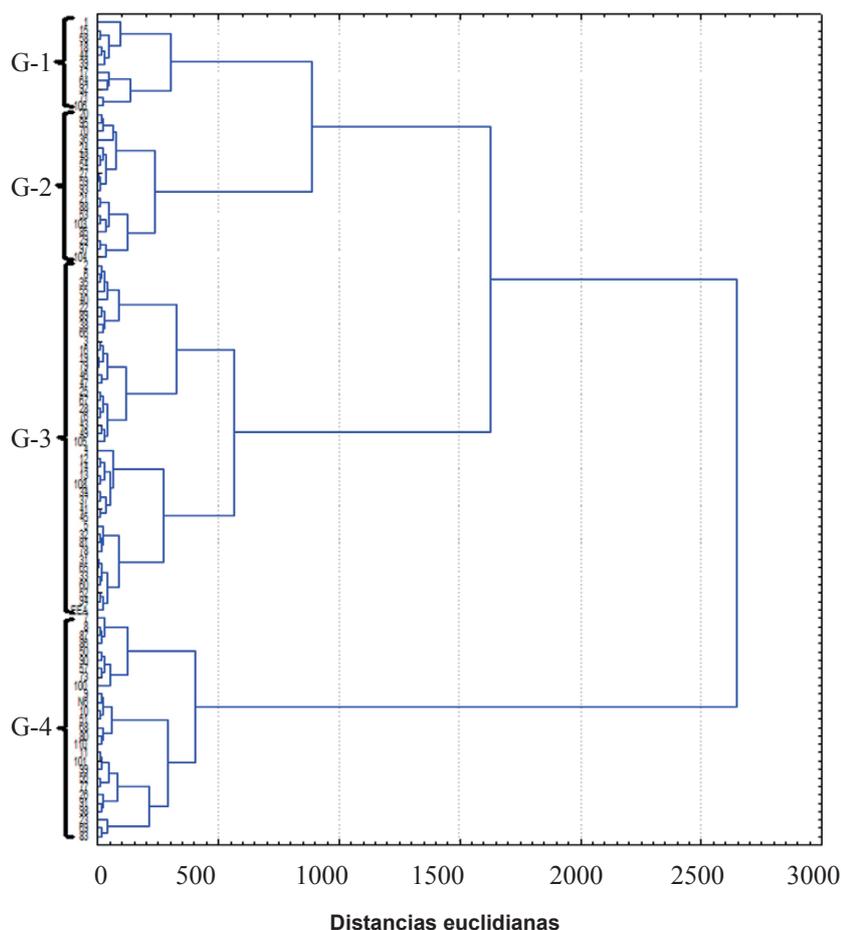


Figura 2. Dendrograma obtenido con los siete caracteres cuantitativos seleccionados en la población 1 de guayabo ('EEA 18-40' x 'N6'), basado en distancias euclidianas y el método de agrupamiento de Ward

El dendrograma obtenido para la población 2 se muestra en la Figura 3. Se reunieron en el Grupo 1 los genotipos: 111, 113, 115, 117, 120, 125, 128, 129, 132, 145, 147, 151, 152, 153, 156, 158, 159, 162, 163, 164, 166, 185, 197, 214, 215, 220 y 'Suprema Roja'; que presentaban frutos medianos, con pesos entre 118,9 y 179,5 g, redondeados (largo: 59,8-71,4 mm; ancho: 60,2-70,8), con los menores valores de espesor externo de la pulpa (10,9 y 15,5 mm), y con valores medios a altos de número de semillas por fruto (189-275), más parecidos al padre. En el Grupo 2, se encontraban los genotipos: 116, 121, 127, 136, 137, 139, 141, 144, 148, 165, 170, 171, 173, 188, 203, 205, 206, 212, 224 y 'EEA 18-40'; que tenían los frutos más grandes (pesos entre 192,3 y 269,7 g), alargados pues los valores del largo del fruto (71,1-88,7 mm) fueron superiores a los valores del ancho (67,1-72,6 mm), con los valores más altos de espesor externo de la pulpa (13,5-17,8 mm), valores medios a altos de número de semillas por fruto (188-271); son los genotipos más parecidos a la madre. El Grupo 3 estaba formado por los genotipos: 112, 119, 124, 131, 134, 135, 138, 140, 143, 169, 172, 176, 177, 186 y 218, los cuales presentaban frutos medianos (126,4-196,8 g), alargados

(largo: 64,6-95,8 mm; ancho: 55,7-70,3 mm), con valores medios de espesor externo de la pulpa (12,1-18,7 mm), y los menores valores de número de semillas por fruto (73-183) en la población. En el Grupo 4 quedaron los genotipos: 123, 126, 130, 149, 161, 168, 181, 183, 187, 193, 208, 209 y 217, que tenían frutos medianos a grandes (142,7-256,1 g), alargados (largo: 63,5-91,1 mm; ancho: 62,7-78,1 mm), valores medios de espesor externo de la pulpa (12,1-16,5 mm), y los mayores valores de número de semillas (282-359).

En la población 3, se reunieron en el Grupo 1 los genotipos: 229, 250, 253, 255, 261, 265, 272, 299, 305, 307 y 335; que presentaban frutos medianos a grandes (pesos entre 147,8 y 225,3 g), con valores medios de espesor interno de la pulpa (32,4-40,1 mm), número (157-195) y masa total (1,99-2,81 g) de las semillas por fruto. En el Grupo 2, se encontraron los genotipos: 236, 264, 288, 298, 300, 302, 306, 309, 340, 347, 348 y 'Belic L-207', que tenían frutos pequeños (97,0-172,2 g), y con los menores valores de espesor interno de la pulpa (25,8-37,5 mm), número (113-182) y masa total (1,41-2,62 g) de las semillas por fruto; son los genotipos más parecidos al padre.

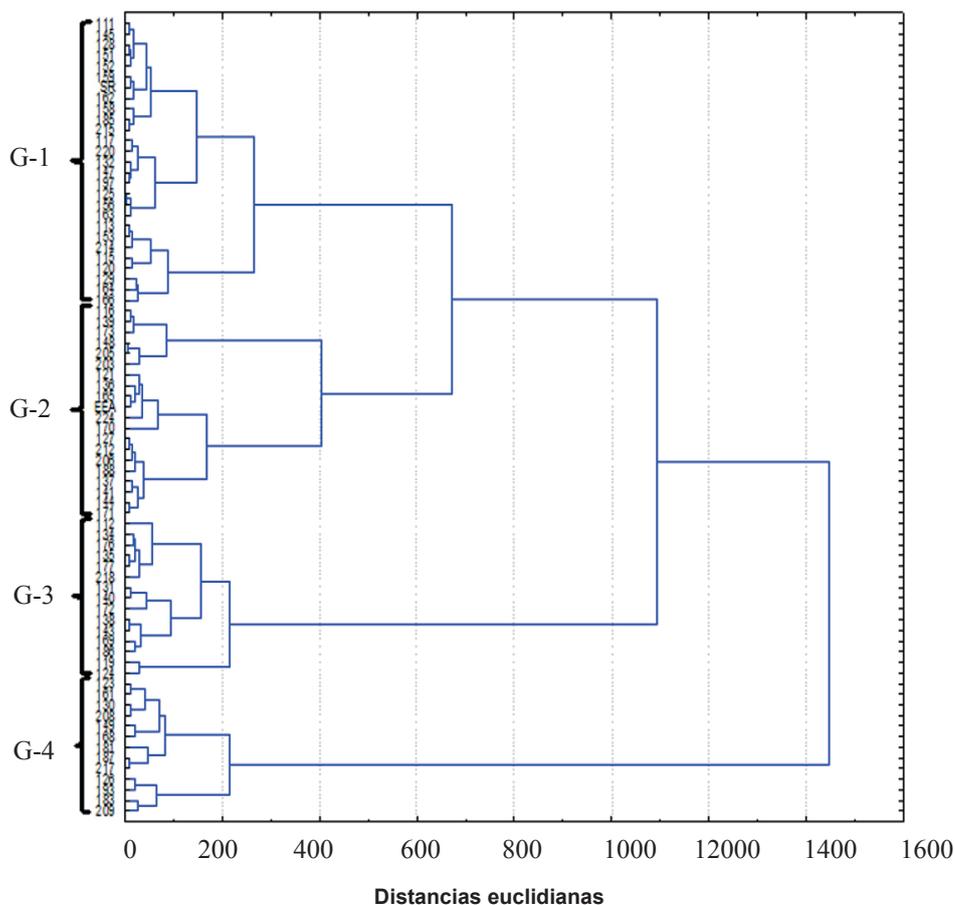


Figura 3. Dendrograma obtenido con siete caracteres cuantitativos seleccionados en la población 2 de guayabo ('EEA 18-40' x 'Suprema Roja'), basado en distancias euclidianas y el método de agrupamiento de Ward

En el Grupo 3 quedaron los genotipos: 230, 231, 233, 256, 267, 284, 304, 336, 346 y 'EEA 18-40', que se caracterizaron por presentar los frutos más grandes (157,5-244,3 g), con los valores mayores de espesor interno de la pulpa (34,2-43,0 mm), número (247-332) y masa total (2,59-6,53 g) de las semillas por fruto, en la población. El Grupo 4 estuvo formado por los genotipos: 262, 273, 277, 278, 280, 282, 287, 291, 293, 294, 301, 308, 313, 316, 322 y 329, que presentaron frutos pequeños (118,6-171,9 g), similares a los del grupo 2, pero con mayores valores de espesor interno de la pulpa (32,9-40,1 mm), número (204-283) y masa total (2,29-3,40 g) de las semillas por fruto (Figura 4).

El análisis de agrupamiento de K-medias se realizó con los caracteres del fruto en las tres poblaciones, que resultaron ser los de mayor contribución a la variabilidad en análisis previos. Se determinó, a partir de los análisis de varianzas que realiza este procedimiento, que los siete caracteres incluidos en el análisis contribuyeron de manera significativa a la formación de los cuatro grupos de diversidad en cada una de las poblaciones.

Los caracteres masa del fruto y número de semillas por fruto fueron los que mejor discriminaron los grupos, en las tres poblaciones. Estos resultados se pueden apreciar en las Figuras 5, 6 y 7, en las cuales se representaron los valores medios de los caracteres del fruto, en cada uno de los cuatro grupos de diversidad formados en las poblaciones 1, 2 y 3, respectivamente.

Como se puede observar en las Figuras 5, 6 y 7, los valores medios de los grupos presentan mayores diferencias entre sí, en los caracteres masa del fruto y número de semillas por fruto, en las tres poblaciones, pues las líneas discontinuas que unen los valores medios de los caracteres en cada grupo, se separan más en tales caracteres, lo que indica que los valores medios de los mismos presentan mayores diferencias entre grupos.

Los caracteres masa del fruto y número de semillas por fruto se encuentran entre las accesiones mexicanas de guayabo, de mayor variabilidad para la formación de grupos por análisis de conglomerados (16).

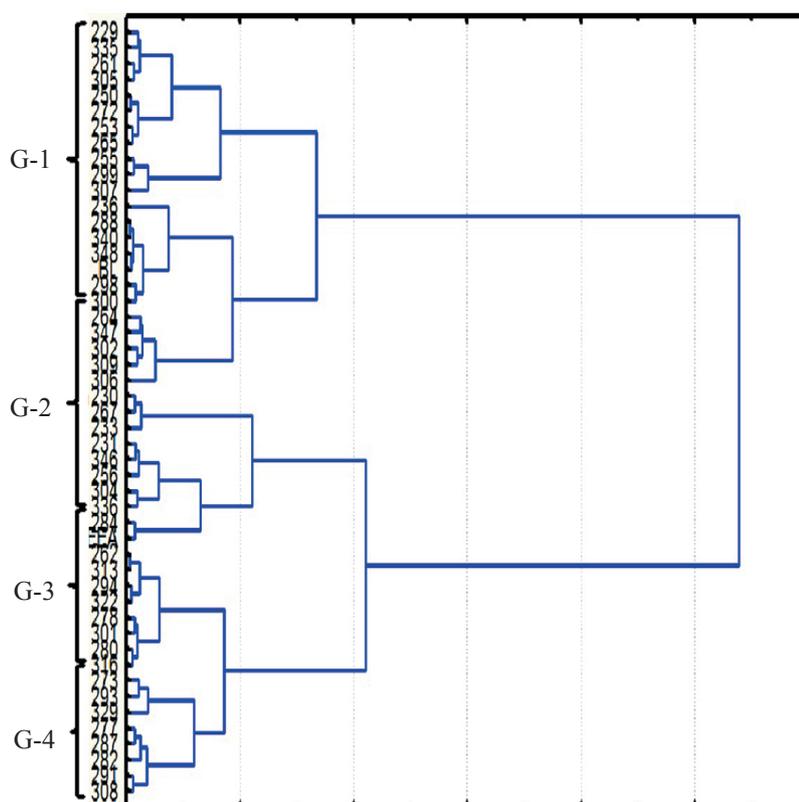
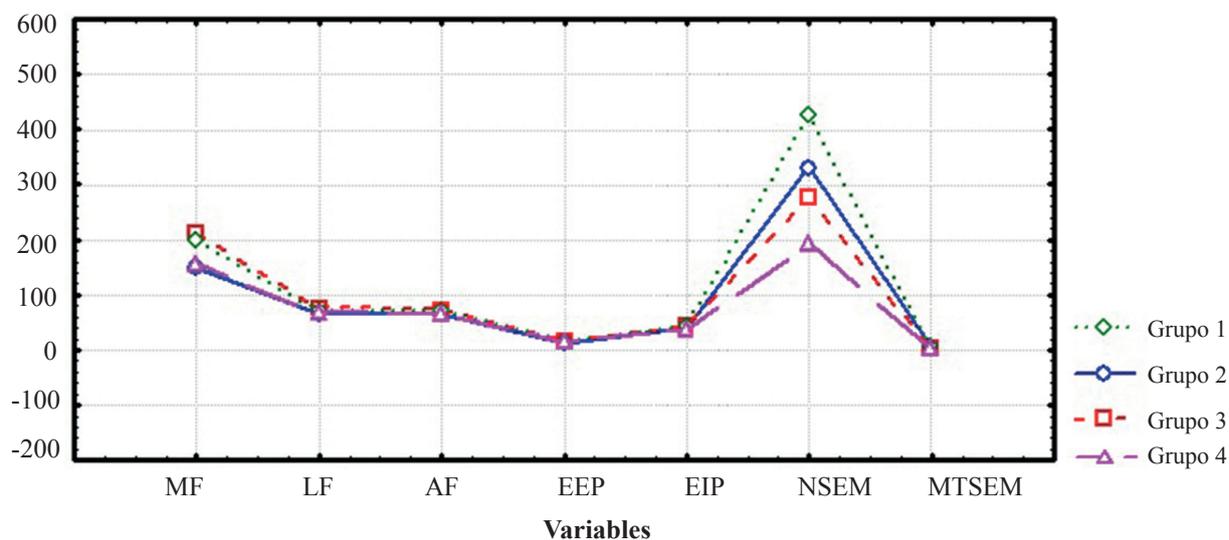
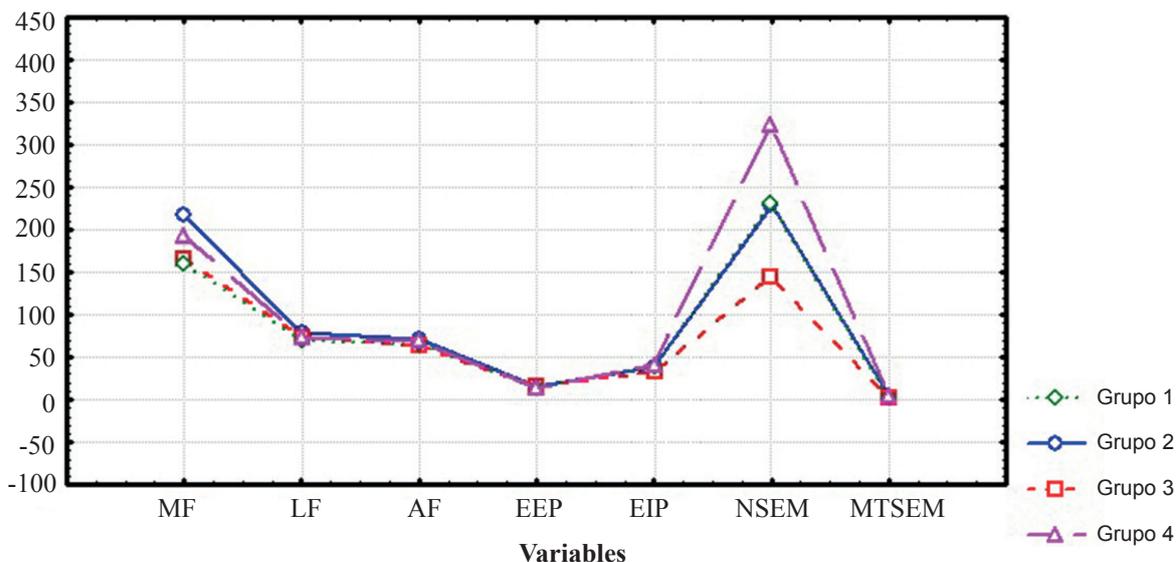


Figura 4. Dendrograma obtenido con siete caracteres cuantitativos seleccionados en la población 3 de guayabo ('EEA 18-40' x 'Belic L-207'), basado en una matriz de distancias euclidianas y el método de agrupamiento de Ward



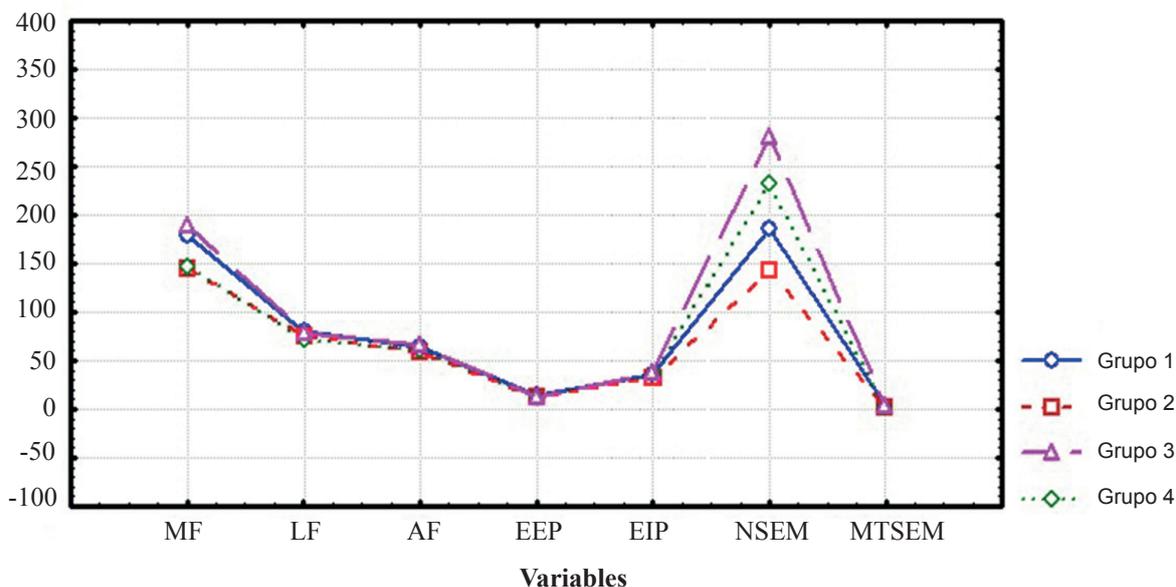
(MF): masa del fruto; (LF): largo del fruto; (AF): ancho del fruto; (EEP): espesor externo de la pulpa; (EIP): espesor interno de la pulpa; (NSEM): número de semillas por fruto; (MTSEM): masa total de las semillas por fruto.

Figura 5. Valores medios de siete caracteres cuantitativos en los cuatro grupos de diversidad de la población 1 de guayabo ('EEA 18-40' x 'N6')



(MF): masa del fruto; (LF): largo del fruto; (AF): ancho del fruto; (EEP): espesor externo de la pulpa; (EIP): espesor interno de la pulpa; (NSEM): número de semillas por fruto; (MTSEM): masa total de las semillas por fruto

Figura 6. Valores medios de siete caracteres cuantitativos, en los cuatro grupos de diversidad de la población 2 de guayabo ('EEA 18-40' x 'Suprema Roja')



(MF): masa del fruto; (LF): largo del fruto; (AF): ancho del fruto; (EEP): espesor externo de la pulpa; (EIP): espesor interno de la pulpa; (NSEM): número de semillas por fruto; (MTSEM): masa total de las semillas por fruto

Figura 7. Valores medios de siete caracteres cuantitativos, en los cuatro grupos de diversidad de la población 3 de guayabo ('EEA 18-40' x 'Belic L-207')

También están referidos en los descriptores publicados por algunos investigadores (11), como altamente discriminativos para la diferenciación y caracterización de accesiones de guayabo. Además, son caracteres de gran importancia para el mejoramiento genético del cultivo, pues se encuentran entre los factores determinantes para la selección de los frutos, tanto para el mercado en fresco, como para la industria.

El número de semillas es un carácter de gran importancia en este cultivo, pues los genotipos con bajo número de semillas se consideran promisorios para ser utilizados en el mejoramiento y la comercialización de la especie. Las semillas, por lo general, se descartan en el procesamiento de la fruta, sin embargo, contienen entre 5-13 % de aceite rico en ácidos grasos esenciales, que se podrían utilizar como aderezo para ensaladas.

Al realizar el análisis factorial discriminante con los caracteres del fruto, se determinó que los cuatro grupos de diversidad formados en cada una de las poblaciones, diferían entre sí, al obtener valores significativos del estadístico Lambda de Wilks, en cada uno de los análisis, los cuales se muestran en las Figuras 8, 9 y 10. Los grupos se formaron con un 95,92 % de confiabilidad en la población 1, un 93,33 % en la población 2 y un 97,96 % en la población 3. Los valores de los porcentajes de confiabilidad son elevados, superiores al 90 % en las tres poblaciones, lo que indica que los cuatro grupos de diversidad previamente definidos en los análisis de conglomerados y de K-medias, realmente difieren entre sí. Además, se puede concluir también que los genotipos que integran cada uno de los grupos, tienen una elevada probabilidad de realmente estar presentes en el grupo al cual fueron asignados y no a otro.

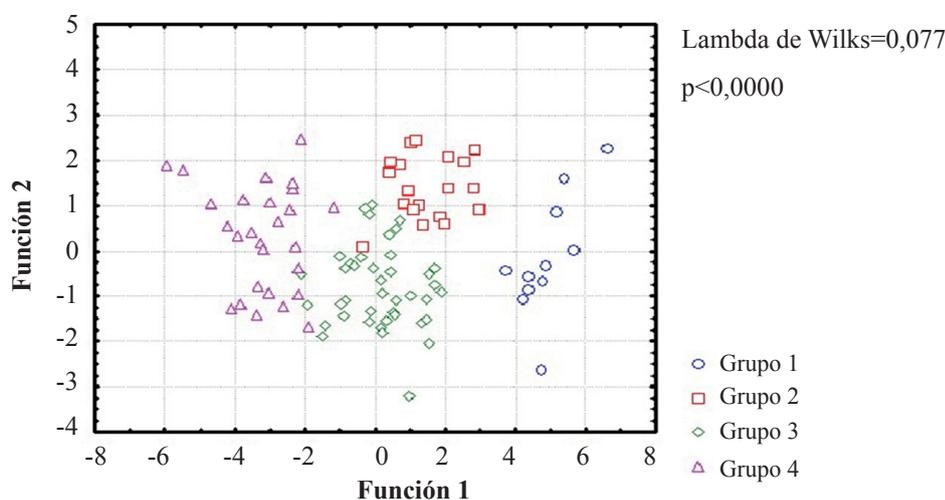


Figura 8. Distribución de los grupos de diversidad formados en la población 1 de guayabo ('EEA 18-40' x 'N6'), en el plano de las dos primeras funciones discriminantes, para los caracteres cuantitativos seleccionados

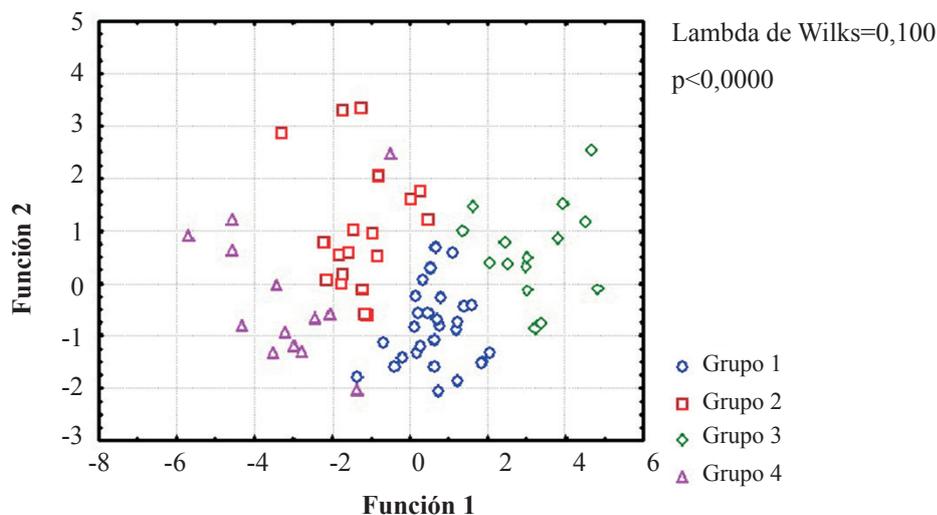


Figura 9. Distribución de los grupos de diversidad formados en la población 2 de guayabo ('EEA 18-40' x 'Suprema Roja'), en el plano de las dos primeras funciones discriminantes, para los caracteres cuantitativos seleccionados

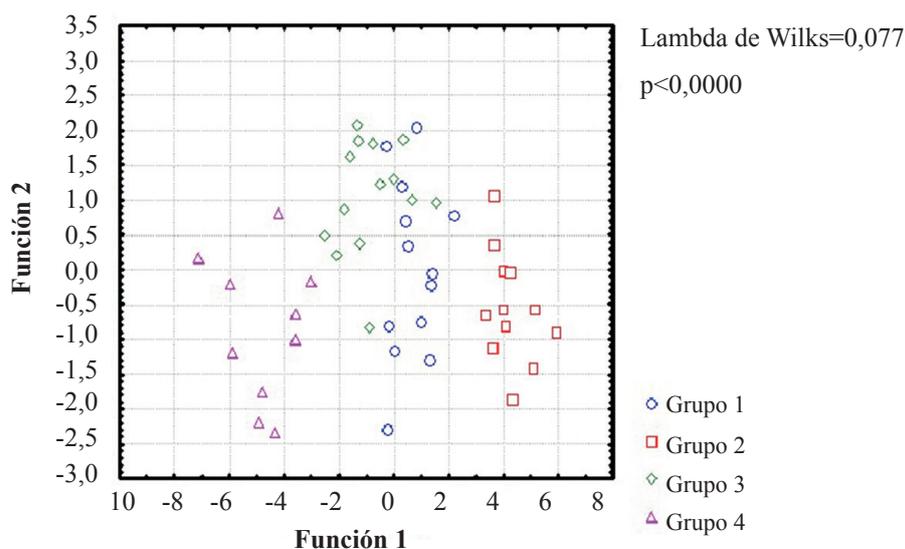


Figura 10. Distribución de los grupos de diversidad formados en la población 3 de guayabo ('EEA 18-40' x 'Belic L-207'), en el plano de las dos primeras funciones discriminantes, para los caracteres cuantitativos seleccionados

El análisis mostró además, que los caracteres masa del fruto y número de semillas por fruto fueron los que más contribuyeron a diferenciar entre sí los grupos de diversidad, en las poblaciones 2 y 3, así como, el número de semillas en la población 1.

Estos resultados coinciden con los obtenidos en el análisis de agrupamiento de K-medias, lo que confirma la utilidad de la evaluación de ambos caracteres en la caracterización y diferenciación de genotipos de guayabo. En las Figuras 8, 9 y 10, se muestran las representaciones de las distribuciones de los cuatro grupos de diversidad en el plano de las dos primeras funciones discriminantes, en las tres poblaciones respectivamente. Cada grupo aparece representado con un color diferente.

Como se puede observar en las figuras, existe muy poca superposición entre los genotipos que forman grupos diferentes, lo que confirma los altos valores de porcentaje de confiabilidad en la formación de tales grupos, previamente mencionados. Este resultado ratifica, las marcadas diferencias entre los grupos formados en cada población, para los caracteres del fruto evaluados, que fueron los de mayor contribución a la variabilidad en las tres poblaciones obtenidas.

Los resultados del presente trabajo indican, de manera similar a otros obtenidos (16, 20, 21), que el empleo de caracteres cuantitativos y cualitativos es de gran utilidad para la identificación y caracterización de nuevos cultivares.

La integración de los resultados obtenidos con los análisis multivariados realizados, permitió detectar la alta variabilidad presente en las poblaciones de guayabo para los caracteres cuantitativos evaluados, la identificación de los caracteres de mayor contribución

a la misma, así como la formación de grupos de diversidad en cada una de las poblaciones. Muchos de estos caracteres tienen una gran importancia económica y para el mejoramiento del cultivo. Estos resultados permitirán realizar una selección más eficiente de genotipos de interés para propósitos de conservación y mejoramiento, y reaccionar ante las demandas del mercado, tanto de frutas frescas como para la industria.

CONCLUSIONES

- ◆ Los caracteres de tamaño y forma del fruto resultaron ser los de mayor variabilidad genética en las poblaciones estudiadas, por lo que se deben utilizar en la evaluación de nuevos genotipos del cultivo.
- ◆ Los caracteres masa, largo y ancho del fruto, espesor externo e interno de la pulpa, número y masa total de las semillas por fruto, permitieron la formación de grupos de diversidad en las tres poblaciones de guayabo, lo cual sugiere que se deben emplear en la caracterización de la diversidad genética en otras poblaciones del cultivo.
- ◆ En las tres poblaciones de guayabo analizadas existe una gran diversidad de genotipos para caracteres vegetativos y del fruto, de importancia agronómica, que pueden ser utilizados en futuros programas de mejoramiento genético y en su comercialización.

RECOMENDACIONES

Realizar la determinación de parámetros genéticos-estadísticos en las poblaciones evaluadas, así como un estudio de la interacción genotipo-ambiente, que contribuyan a la selección de genotipos promisorios, para emplear en programas de mejoramiento genético y para la comercialización del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Rajan, S.; Yadava, L. P. y Kumar, R. "Variation among guava (*Psidium guajava* L.) accessions in seed hardness and its association with fruit characteristics". *International Journal of Innovative Horticulture*, vol. 1, no. 1, 2012, pp. 18-23, ISSN 1054-7487.
- Nogueira, A. M.; Ferreira, M. F. S.; Guilhen, J. H. S. y Ferreira, A. "Multivariate analysis in a genetic divergence study of *Psidium guajava*". *Genetics and molecular research: GMR*, vol. 13, no. 4, 2014, pp. 10657-10668, ISSN 1676-5680, DOI 10.4238/2014. December.18.8, PMID: 25526187.
- Ahmed, B.; Mannan, M. y Hossain, S. "Molecular characterization of guava (*Psidium guajava* L.) germplasm by RAPD analysis". *International Journal of Natural Sciences*, vol. 1, no. 3, 3 de noviembre de 2011, pp. 62-67, ISSN 2221-1020, 2221-1012, DOI 10.3329/ijns.v1i3.8823.
- Pommer, C. V. "Guava World-Wide Breeding: Major Techniques and Cultivars and Future Challenges". *Acta Horticulturae*, no. 959, septiembre de 2012, pp. 81-88, ISSN 0567-7572, 2406-6168, DOI 10.17660/ActaHortic.2012.959.9.
- Pommer, C. V.; de Oliveira, O. F. y Santos, C. A. F. G. *Recursos genéticos e melhoramento*. edit. Edufersa, Mossoró, 2013, 126 p., ISBN 978-85-63145-17-8.
- Valdés-Infante, J.; Rodríguez, N. N.; Velásquez, J. B.; Sourd, D. G.; González, G.; Rodríguez, J. A. y Rohde, W. "Herramientas para un programa de mejoramiento genético del guayabo (*Psidium guajava* L.) en Cuba". *Agronomía Costarricense*, vol. 36, no. 2, 2012, ISSN 2215-2202, [Consultado: 2 de febrero de 2016], Disponible en: <<http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/9839>>.
- IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. (ser. World Soil Reports, no. ser. 106), edit. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2014, 191 p., ISBN 978-92-5-108370-3.
- MINAG. *Instructivo técnico para el cultivo de la Guayaba*. edit. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical, La Habana, Cuba, 2011, 38 p., ISBN 978-959-7210-44-3.
- Union for the Protection of New Varieties of Plants. *Guidelines for the conduct of test for distinctness, homogeneity and stability. Guava (*Psidium guajava* L.)* [en línea]. no. TG/110/3, Geneva, Switzerland, 1987, p. 29, [Consultado: 7 de enero de 2016], Disponible en: <http://www.upov.int/en/publications/tg-rom/tg110/tg_110_3.pdf>.
- Rodríguez-Medina, N. N.; Fermin, G. A.; Valdés-Infante, J.; Velásquez, B.; Rivero, D.; Martínez, F.; Rodríguez, J. y Rohde, W. "Illustrated descriptor for guava (*Psidium guajava*)". *Acta Horticulturae*, no. 849, enero de 2010, pp. 103-110, ISSN 0567-7572, 2406-6168, DOI 10.17660/ActaHortic.2010.849.11.
- Nerdo, R. N.; Valdés, I. J.; Velásquez, J. B.; Rivero, D.; Sourd, D. G.; Martínez, F.; Tamayo, R. y Rodríguez, J. A. "Colección cubana de germoplasma de guayabo (*Psidium guajava* L.): Establecimiento, caracterización y selección de cultivares.". *CitriFrut*, vol. 27, no. 1, 2010, pp. 28-38, ISSN 1607-5072.
- StatSoft. *STATISTICA (data analysis software system)* [en línea]. versión 8.0, [Windows], edit. StatSoft, Inc., US, 2007, Disponible en: <<http://www.statsoft.com>>.
- Santos, C. A. F.; Corrêa, L. C. y Costa, S. R. da. "Genetic divergence among *Psidium* accessions based on biochemical and agronomic variables". *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, vol. 11, no. 2, junio de 2011, pp. 149-156, ISSN 1984-7033, DOI 10.1590/S1984-70332011000200007.
- Hernández, D. S.; Padilla, R. J. S.; Nava, C. A. y Mayek, P. N. "Morphological and genetic diversity of Mexican guava germplasm". *Plant Genetic Resources*, vol. 5, no. 03, diciembre de 2007, pp. 131-141, ISSN 1479-263X, DOI 10.1017/S1479262107827055.
- Lozano, L. J.; Pinzón, M. I. A. y Florez, J. E. M. "Caracterización morfológica de accesiones silvestres de guayaba". *Acta Agronómica*, vol. 58, no. 2, 4 de septiembre de 2009, pp. 69-74, ISSN 2323-0118.
- Mehmood, A.; Jaskani, M. J.; Khan, I. A.; Ahmad, S.; Ahmad, R.; Luo, S. y Ahmad, N. M. "Genetic diversity of Pakistani guava (*Psidium guajava* L.) germplasm and its implications for conservation and breeding". *Scientia Horticulturae*, vol. 172, 9 de junio de 2014, pp. 221-232, ISSN 0304-4238, DOI 10.1016/j.scienta.2014.04.005.
- Milosevic, T. y Milosevic, N. "Genetic variability and selection in natural populations of vineyard peach (*Prunus persica* spp. vulgaris mill.) in the Krusevac region (Central Serbia)". *Agrociencia*, vol. 44, no. 3, 2010, pp. 297-309, ISSN 1405-3195.
- Mratinic, E. y Fotiric-Aksic, M. "Evaluation of phenotypic diversity of apple (*Malus* sp.) germplasm through the principle component analysis". *Genetika*, vol. 43, no. 2, 2011, pp. 331-340, ISSN 0534-0012, DOI 10.2298/GENSR1102331M.
- Nasution, F. y Hadiati, S. "Characterization and clustering of some guava germplasm collections based on leaf and fruit characters". *Agrivita*, vol. 36, no. 1, 2014, p. 91, ISSN 0126-0537.
- Corrêa, L. C.; Santos, C. A. F. y Lima, G. P. P. "Chemical and biochemical characterization of guava and araçá fruits from different regions of Brazil". *Acta Horticulturae*, no. 959, septiembre de 2012, pp. 103-109, ISSN 0567-7572, 2406-6168, DOI 10.17660/ActaHortic.2012.959.12.
- Roy, S.; Islam, M. A.; Sarker, A.; Malek, M. A.; Rafii, M. Y. y Ismail, M. R. "Determination of genetic diversity in lentil germplasm based on quantitative traits". *Australian Journal of Crop Science*, vol. 7, no. 1, enero de 2013, p. 14, ISSN 1835-2707, 1835-2693.

Recibido: 26 de septiembre de 2014

Aceptado: 28 de diciembre de 2015