

Caracterización morfológica de germoplasma de guayabos de México: implicaciones en su conservación y mejoramiento genético

Sanjuana Hernández-Delgado¹, José Saúl Padilla-Ramírez², Netzahualcoyotl Mayek-Pérez³

Resumen – El guayabo (*Psidium guajava* L.) que se cultiva en México muestra variación morfológica y productiva debido a que comúnmente se propaga sexualmente. La caracterización de la diversidad genética permitirá identificar progenitores potenciales para el mejoramiento genético de la especie o para la producción de nuevos materiales clonales. En este trabajo se caracterizaron, con base en 50 descriptores morfológicos, 88 accesiones de guayabo [87 pertenecientes a *P. guajava* y una a *P. friedrichsthalianum* (Berg.) Niedz] cultivadas en un banco de germoplasma localizado en Huanusco, Zacatecas, México. El 95% del germoplasma tiene frutos ovoides o redondos, 92% tiene frutos con mesocarpio crema o blanco y 87.5% frutos amarillos. Los frutos con dichas características se denominan regionalmente como ‘China’ o ‘Media China’ y son los preferidos para el consumo como fruta fresca o de mesa. Siete características cuantitativas describieron mejor la variabilidad morfológica del germoplasma: dos de árbol (grosor del tallo y longitud de hojas) y cinco del fruto (diámetro polar y ecuatorial; tamaño de sépalo; diámetro de la cavidad del cáliz y contenido de sólidos solubles totales). Tres accesiones (números 68, 52 y 49) sobresalieron por sus valores altos de crecimiento de árbol en campo aunque con frutos pequeños; mientras que otras cinco (números 79, 57, 60, 78 y 56) exhibieron menor crecimiento de árbol pero mayores tamaños de fruto, de sépalos y de la cavidad del cáliz, así como contenido de sólidos solubles totales.

Palabras clave: *Psidium guajava* L., *P. friedrichsthalianum* (Berg.) Niedz, morphologic diversity, Mexican germplasm.

Morphologic characterization of guava germplasm from México: implications about its conservation and breeding

Abstract - Guavas (*Psidium guajava* L.) growing throughout Mexico show broad morphologic and productive variation due the crop is commonly sexual-propagated. The characterization of genetic diversity of Mexican guava germplasm will allow identify potential parents for genetic improvement as well as the production of new clonal cultivars. In this work 88 guava accessions [87 belong to *P. guajava* and one from *P. friedrichsthalianum* (Berg.) Niedz] growing in Huanusco, Zacatecas Mexico were characterized on the basis of 50 morphologic descriptors. The 95% of germplasm shows ovoid or round fruit shape; 92% fruits with beige or white mesocarp and 87.5% has yellow fruits. Fruits with these traits are locally named as ‘China’ or ‘Media China’ and they are preferred for fresh use. Seven quantitative traits were those that better described the morphologic variability of germplasm: two from trees (stem thickness and leaf length) and five from fruits (polar and equatorial diameter; sepal size; calyx cavity diameter; and total solid soluble content). Three accessions (numbers 68, 52, and 49) outstand due their high values of tree growth under field conditions although showing small fruit sizes while other five accessions (numbers 79, 57, 60, 78, and 56) exhibited small tree sizes but high values for fruit, sepals and calyx cavity, and total solid soluble contents.

Index Terms: *Psidium guajava*, *P. friedrichsthalianum* (Berg.) Niedz, morphologic diversity, Mexican germplasm.

Corresponding author:
nmayeklp@yahoo.com.mx

Received: Janeiro 03, 2017.
Accepted : October 02, 2017.

Copyright: All the contents of this journal, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution License.



¹M.Sc. Profesor Titular. Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional/Centro de Biotecnología Genómica. Reynosa, Mexico. E-mail: shernandezd@ipn.mx

²Ph.D. Investigador Titular. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Pabellón de Arteaga, México. E-mail: jsaulpr@yahoo.com.mx

³Dr.Sci. Instituto Politécnico Nacional, Universidad México Americana del Norte AC. Reynosa, México. E-mail: nmayeklp@yahoo.com.mx

Introducción

México es el tercer productor mundial de guayabo (*Psidium guajava* L.) después de la India y Pakistán. Para 2013 en el país se cultivaban alrededor de 21,000 ha con guayaba, de las cuales 9,300 (44 %) se ubicaban en la región ‘Calvillo-Cañones’; dicha región comprende a los municipios de Calvillo, en el estado de Aguascalientes con 6,300 ha y Apozol, Huanusco, Jalpa, Juchipila, Moyahua, Nochistlán, Tabasco y Villanueva, en el estado de Zacatecas con 3,000 ha (Tabla 1) (SIAP, 2015).

El guayabo que se produce en dicha región se considera de la mejor calidad para consumo fresco debido a su aroma, sabor y consistencia; ésta última redundando en frutos con mayor vida de anaquel. Los rendimientos de fruta oscilan entre 15.0 - 15.5 t.ha⁻¹, los cuales son mayores a la media nacional (14.45 t ha⁻¹) (SIAP, 2015). Sin embargo, comparado con otros países los rendimientos son menores, debido a que la mayor parte de la superficie cultivada tiene suelos con baja fertilidad, reducida disponibilidad de agua para riego, cultivo en huertos de ladera con pendientes pronunciadas y suelos superficiales o poco profundos, así como a la incidencia de agentes bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (sequía y heladas) que afectan la producción (PADILLA-RAMÍREZ et al., 2012).

En la región Calvillo-Cañones no se cultivan materiales o variedades mejoradas con ventajas hortícolas que permitan la homogeneización de los huertos. El germoplasma regional ha sido seleccionado empíricamente por los agricultores y se denomina genéricamente como “China” y “Media China” (GONZÁLEZ-GAONA et al., 2002; MONDRAGÓN et al., 2009; 2010). Sin embargo, se ha detectado variabilidad morfológica y bioquímica en el germoplasma regional entre y dentro de huertos (MARTÍNEZ-DE LARA et al., 2004), dado que el guayabo se propaga comúnmente por semilla (HERNÁNDEZ-DELGADO et al., 2007). La variabilidad afecta el rendimiento y calidad de frutos, susceptibilidad a factores bióticos y/o abióticos y problemas en la comercialización (PADILLA-RAMÍREZ et al., 2012).

Existen pocos trabajos relacionados con la evaluación y selección de germoplasma sobresaliente, o bien el registro de variedades clonales mejoradas (PADILLA-RAMÍREZ; GONZÁLEZ-GAONA, 2010) y las que se llegan a utilizar provienen de otros países, como por ejemplo la ‘Enana Roja Cubana’ de Cuba (RODRÍGUEZ et al., 2010b). Lo anterior sugiere que el incremento en la producción de guayabo en México puede lograrse mediante el mejoramiento genético del cultivo. Sin embargo, el aprovechamiento de la variabilidad existente en programas de mejoramiento no había sido consistente hasta casi finales del siglo XX.

En este sentido destaca el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) que colectó germoplasma característico de guayaba de la región Calvillo-Cañones a inicios de 1980,

y en 1989-1990 estableció un banco de germoplasma en Huanusco, Zacatecas. Luego, a la par de la colecta de germoplasma y su caracterización, comenzó también el mejoramiento genético de la especie (HERNÁNDEZ-DELGADO et al., 2007; MONDRAGÓN-JACOBO et al., 2009; PADILLA-RAMÍREZ; GONZÁLEZ-GAONA, 2010). Este proceso contrasta con los avances en mejoramiento genético y aplicaciones biotecnológicas en otros países como la India, Brasil o Cuba (RAI et al., 2010; RODRÍGUEZ et al., 2010b; POMMER, 2012; VALDÉS-INFANTE et al., 2012).

La caracterización morfológica de frutos y semillas permite delimitar subfamilias y tribus en algunas especies. La variabilidad en las características morfológicas de la guayaba se ha reportado en Egipto (EL SISY, 2013); India (BABU et al., 2007); Brasil (FERNANDES-SANTOS et al., 2010, 2011; COSER et al., 2012); México (PADILLA-RAMÍREZ et al., 2002; MARTÍNEZ-DE LARA et al., 2004; HERNÁNDEZ-DELGADO et al., 2007; PADILLA-RAMÍREZ; GONZÁLEZ-GAONA, 2010); Cuba (RODRÍGUEZ et al., 2004; 2010b; VALDÉS-INFANTE et al., 2010) y Pakistán (MEHMOOD et al., 2014). Los guayabos Mexicanos presentan mayores contenidos de vitamina C y de sólidos solubles totales, aunque son superados por las guayabas extranjeras en cuanto al tamaño de fruto y el grosor de mesocarpio (PADILLA-RAMÍREZ et al., 2002; HERNÁNDEZ-DELGADO et al., 2007; PADILLA-RAMÍREZ; GONZÁLEZ-GAONA, 2010).

Este trabajo se llevó a cabo con el objetivo de caracterizar la variabilidad agro-morfológica de germoplasma de guayabo de la región productiva ‘Calvillo-Cañones’ de México con fines de identificación de germoplasma sobresaliente dentro de la cadena productiva del guayabo en la región central de México.

Materiales y métodos

Germoplasma

En este trabajo se incluyeron 88 accesiones del Banco de Germoplasma de Guayabo (87 de *P. guajava* y una de *P. friedrichsthalianum*) establecido en 1989-1990 en el Campo Experimental Los Cañones, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Huanusco, Zacatecas, México (21° 45' LN; 102° 58' LO; 1500 msnm). Cada accesión estuvo representada por números variables de árboles (de dos a cuatro) que están plantados a distancias de 3 x 3 m y que se mantienen de acuerdo con las indicaciones del INIFAP (PADILLA-RAMÍREZ et al., 2002).

El germoplasma de *P. guajava* se colectó en los municipios de la región Calvillo-Cañones: Apozol, Juchipila, Tabasco, Huanusco y Jalpa (Zacatecas) y Calvillo (Aguascalientes). La región productora de guayabo en Zacatecas se ubica entre los 21°25'-21°52' de latitud norte (LN) y 102° 55'- 103° 07' de longitud oeste (LO); con

un rango de altitud de 1240 a 1500 msnm; los rangos de temperaturas medias anuales van de los 19.5 a los 22.6 °C y los de precipitación media anual desde los 497 hasta los 690 mm. Calvillo, Aguascalientes, se localiza entre los 21° 51' de LN y 102° 43' de LO; está a poco más de 1600 msnm, con temperatura media anual de 20.3 °C y precipitación anual de 660 mm (TABLA 1). La accesión perteneciente a *P. friedrichsthalianum* se introdujo a México probablemente de Hawaii, EUA; no se conoce la fecha de introducción, ni el nombre del introductor (Comunicación Personal. M. Sc. M. A. PERALES-DE LA CRUZ, INIFAP, Pabellón de Arteaga. Aguascalientes, México. 2013).

Análisis morfológico

Cincuenta características morfológicas descritas por UPOV (1987) se midieron en al menos dos árboles de cada accesión. Los descriptores incluyen cinco características del árbol, 18 de hojas y 27 de frutos (Cuadro 2). Algunas de estas características también son descritas y propuestas para *Psidium* por SANCHEZ-URDANETA Y PEÑA-VALDIVIA (2011) y por RODRÍGUEZ et al. (2010a). Las características de hojas y frutos se registraron a partir de 20 muestras tomadas al azar en cada árbol. Para la determinación del contenido de sólidos solubles totales se utilizó un refractómetro ATAGO®, modelo N-1EBX (0-32 %) (PADILLA-RAMÍREZ et al., 2012).

Análisis de datos

Las frecuencias de las características cualitativas determinadas así como los estadísticos descriptivos (media, rango, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación) de las características cuantitativas se calcularon para cada accesión. Con la información anterior se realizaron dos análisis de componentes principales (ACP) de datos cuantitativos y cualitativos para identificar las variables que mejor explican la variación morfológica del guayabo. Un primer análisis permitió pre-seleccionar variables altamente explicativas y el segundo, identificar aquellas variables que pudieran agrupar accesiones. Con la información de las variables con mayor capacidad explicativa, de acuerdo con el ACP (seis características cuantitativas), se procedió al análisis de agrupamiento por conglomerados donde primero se calcularon las distancias Euclidianas entre accesiones y con la matriz de distancias se construyó un dendrograma con base en el método de Ward y cuya altura de corte para la definición de los agrupamientos se determinó con base en los criterios de NÚÑEZ-COLÍN y ESCOBEDO-LÓPEZ (2011). El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa Statistica versión 5.0 (STATSOFT Inc., 1997. Tulsa, Oklahoma, EUA).

Resultados

Las 50 características evaluadas se dividieron en cualitativas (33 características) (Cuadro 2) y cuantitativas (17) (Cuadro 3). Sólo cuatro características cualitativas mostraron más de tres clases fenotípicas (forma de la hoja, color externo del fruto, color del mesocarpio del fruto y acidez de la pulpa del fruto), mientras que siete características solamente exhibieron una clase fenotípica en todo el germoplasma (pubescencia abaxial, color del variegado, intensidad del color verde, color de la nervadura central abaxial, arenosidad del mesocarpio, blandura del mesocarpio y olor del fruto). Adicionalmente, otras 10 características presentaron dos clases fenotípicas (Cuadro 2). Aunque no se incluye en los descriptores de UPOV (1987) se registró la forma del fruto, misma que fue ovalada (80% de las accesiones), redonda (15 %) y aperada o periforme (5 %) (Figura 1). Algunas características cuantitativas fueron altamente variables tales como: tamaño de semilla, grosor del mesocarpio, tamaño de sépalos del cáliz o diámetro de la cavidad del cáliz. Por el contrario, largo, ancho y relación largo/ancho de hojas; así como diámetro polar y ecuatorial de los frutos y contenido de sólidos solubles totales presentaron coeficientes de variación menores al 20 % (Cuadro 3).

El ACP de los datos cualitativos y cuantitativos explicó en su primer corrida el 77.6 % del total de la variación observada en los tres primeros componentes principales, identificando cinco variables cualitativas y siete cuantitativas como altamente explicativas (AE). El segundo ACP explicó 89.3% de la variación observada con los primeros tres CPs e identificó siete variables cuantitativas como las AE, dos de ellas relativas al crecimiento del árbol (grosor del tallo, longitud de hojas) y cinco asociadas con tamaño y características del fruto (diámetro polar y ecuatorial, tamaño de sépalos, diámetro de la cavidad del cáliz y contenido de sólidos solubles totales) (Cuadro 4). La dispersión de las accesiones con base en los dos primeros componentes principales del ACP de caracteres cuantitativos indicó también la escasa diversidad fenotípica del germoplasma de guayabo analizado. Tres accesiones (68, 52 y 49) sobresalieron por sus valores altos de crecimiento de árbol en campo aunque con frutos pequeños; mientras que otras cinco (79, 57, 60, 78 y 56) exhibieron menor crecimiento de árbol pero mayores tamaños del fruto, de sépalos y de la cavidad del cáliz, así como contenido de sólidos solubles totales (Figura 2).

El análisis de conglomerados, en cierta medida, ratificó los resultados del ACP del germoplasma. Cuatro grupos de accesiones se formaron mismos que incluyeron 66 (grupo 1), 9 (2), 5 (3) y 8 (4) accesiones. Las accesiones con los valores más altos de crecimiento de árboles y con mayores tamaños de fruto se incluyeron en los grupos 4 (accesión no. 68) y 2 (accesiones nos. 52, 49, 79, 57, 60, 78, 56). El grupo 2 también exhibió las mayores distancias entre accesiones, lo que indica mayor variabilidad morfo-agronómica del germoplasma incluido en este grupo, mientras que las distancias Euclidianas entre las 66 accesiones del grupo 1 fueron las menores entre ellas (Figura 3).

Discusión

En este trabajo se observó escasa diversidad morfológica en las 88 accesiones de guayabo. Resultados similares han sido relatados por otros autores en trabajos desarrollados en México y otros países. En México se observó alta frecuencia en el germoplasma de accesiones con forma de fruto ovalada o redonda (95 %), color del mesocarpio beige o blanco (92 %) y color externo del fruto amarillo (87.5 %); mientras que en 53 accesiones de guayabo del Valle del Cauca, Colombia también se observó alta frecuencia de accesiones con fruto de forma ovalada (53 %) y alta frecuencia de color externo del fruto amarillo (> a 81 %), aunque el color de mesocarpio más frecuente en países como Colombia, Cuba o Brasil es el rosado y sus variantes (57-58 %) hasta el rojo, lo que coincide con las preferencias de los consumidores en cada país (SANABRIA et al., 2005; VALDÉS-INFANTE et al., 2010; RODRÍGUEZ et al., 2004; FERNANDES-SANTOS et al., 2010; PADILLA-RAMÍREZ et al., 2012; VALDÉS-INFANTE et al., 2012; PADILLA-RAMÍREZ et al., 2014).

Los atributos observados con mayor frecuencia en germoplasma Mexicano de guayabo caracterizan a los tipos denominados “Media China” y “China” en la región “Calvillo-Cañones” de México. Este germoplasma ha sido empíricamente seleccionado por los productores de guayabo de la región, en mayor medida por atributos fenotípicos que por su productividad alta o la calidad del fruto, valorada con variables cuantitativas del fruto tales como el contenido de sólidos solubles totales, el grado de acidez, la jugosidad o el grado de blandura o suavidad del mesocarpio. También, la selección empírica ha favorecido la alta frecuencia de frutos de tamaño intermedio (50 a 100 g), mismos que son los preferidos en el mercado Mexicano, pues muestran características favorables tales como la alta relación entre el peso del mesocarpio y el peso de las semillas, así como bajo proporción de semillas por fruto (PADILLA-RAMÍREZ; GONZÁLEZ-GAONA, 2010; MONDRAGÓN-JACOBO et al., 2010; PADILLA-RAMÍREZ et al., 2012; 2014).

Aunque los frutos de las accesiones de guayabo que se estudiaron en este trabajo son similares a los reportados en la India (BABU et al., 2007; DESHMUKH et al. 2013) y menores a los observados en germoplasma de Guanajuato, México (MONDRAGÓN-JACOBO et al., 2009; 2010). Sin embargo, el germoplasma de la región Calvillo-Cañones muestra algunas ventajas como altos contenidos de sólidos solubles totales, la productividad y la adaptación a las condiciones restrictivas de cultivo de la región (PADILLA-RAMÍREZ et al., 2002; PADILLA-RAMÍREZ; GONZÁLEZ-GAONA, 2010). Además, los resultados de este estudio coinciden con trabajos previos al establecer que las características del fruto tales como el diámetro polar y ecuatorial, grosor del mesocarpio, peso y forma de fruto, y color del mesocarpio; explican

la mayor proporción de la variabilidad fenotípica en guayabo en la región de estudio y podrían sugerirse para futuras caracterizaciones de la diversidad en *Psidium* o en el proceso de evaluación y selección de germoplasma (ARANGUREN et al., 2010; RODRÍGUEZ et al., 2010a; FERNANDES-SANTOS et al., 2011; COSER et al., 2012; POMMER, 2012; VALDÉS-INFANTE et al., 2012; MEHMOOD et al., 2014; PADILLA-RAMÍREZ et al., 2014). Por el contrario, SÁNCHEZ-URDANETA et al. (2008) indican que las características morfológicas que mejor discriminan germoplasma de *Psidium* son aquellas asociadas con planta: altura de planta, forma del dosel, diámetro del tallo y forma de las hojas, éstas últimas también evaluadas por TAPIA y LEGARIA (2007) o bien, características cualitativas del fruto: forma del fruto, forma de la base del fruto, color del fruto (SÁNCHEZ-URDANETA et al., 2007; MEHMOOD et al., 2014).

MARTÍNEZ-DE LARA et al. (2004) observaron diversidad morfológica significativa en árboles de guayabo entre y dentro de huertos de Calvillo, México y mencionaron que cada huerto de guayaba probablemente haya sido establecido con plantas de origen diverso o, incluso, árboles producidos a partir de semilla por cada productor. CORREA et al. (2012) en Brasil; SANABRIA et al. (2005) en Colombia; EL SISY (2013) en Egipto y MEHMOOD et al. (2014) en Pakistán reportaron variabilidad significativa entre genotipos y/o variedades comerciales de guayabo en cuanto a caracteres morfológicos y/o bioquímicos de los frutos. En algunos casos, los valores son mayores en los genotipos mexicanos, como es el caso del contenido de vitamina C que supera hasta seis veces los contenidos encontrados en materiales extranjeros (520 contra 81 mg.100 g⁻¹ de pulpa) o el contenido de sólidos solubles totales, donde se muestran valores promedio de 13 °Brix en germoplasma Mexicano en comparación con 8 - 12 °Brix en materiales del extranjero. No obstante, las variedades del extranjero superan a las Mexicanas en el tamaño de los frutos (520 g en comparación con 140 g en promedio) y en el grosor del mesocarpio (1.5 contra 1.0 cm en promedio). Debe subrayarse que la guayaba se cultiva en México en condiciones poco favorables (suelos pobres y superficiales, escasa humedad disponible, riesgo de heladas, etc.) en comparación con otros países (GONZÁLEZ-GAONA et al., 2002; MONDRAGÓN-JACOBO et al., 2009; 2010). El análisis de componentes principales explicó la diversidad morfológica del germoplasma de guayabo con base en características del rendimiento de fruto (tamaño, diámetro de la cavidad del cáliz) así como del crecimiento del árbol (grosor del tallo).

Tal como lo reportaron SANABRIA et al. (2005) en Colombia, FERNANDES-SANTOS et al. (2010) en Brasil y MONDRAGÓN-JACOBO et al. (2009; 2010); PADILLA-RAMÍREZ y GONZÁLEZ-GAONA (2010); PADILLA-RAMÍREZ et al. (2012; 2014) en México, en este trabajo se detectó germoplasma con potencial

para utilizarse como progenitor ya sea para realizar cruzamientos, o bien en las selecciones individuales para la obtención de germoplasma superior en cuanto a productividad y calidad del fruto. Aunado a lo anterior, deben tomarse en consideración las observaciones de MONDRAGÓN-JACOBO et al. (2010) quienes afirman que cerca del 90 % de la superficie con guayaba en México se cultiva con las variedades 'Media China' y 'China', germoplasma seleccionado por los agricultores empíricamente para las condiciones semiáridas del centro de México. La sostenibilidad de la producción de guayabo

de México o en cualquier otro país o región productora está comprometida si se parte de tan estrecha base genética. En virtud de ello, la expansión del cultivo del guayabo deberá partir del mejoramiento genético y producción de nuevas variedades mejoradas, tanto con frutos con pulpa similares a 'China' y 'Media China', así como de otros tipos y una base genética lo más amplia posible (MONDRAGÓN-JACOBO et al., 2010; PADILLA-RAMÍREZ et al., 2014)

Tabla 1- Localización geográfica y características climáticas de los municipios que conforman la región Calvillo-Cañones, México.

Estado/ Municipio	Área cultivada (ha)	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud promedio (msnm)	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)
Zacatecas	3036					
Apozol	735	21° 28'	103° 05'	1280	22.0	650
Huanusco	246	21° 46'	102° 58'	1500	21.5	560
Jalpa	1264	21° 38'	102° 58'	1380	19.5	643
Juchipila	27	21° 25'	103° 07'	1240	22.6	690
Moyahua	12	21° 12'	103° 10'	1800	19.6	850
Nochistlán	5	21° 26'	102° 52'	1850	18.5	712
Tabasco	518	21° 52'	102° 55'	1500	20.9	497
Villanueva	234	22° 20'	102° 52'	1900	16.2	514
Aguascalientes	6269					
Calvillo	6269	21° 51'	102° 43'	1630	20.3	660

*GONZÁLEZ-GAONA et al. (2002); SIAP (2015); INEGI (2015).

Tabla 2 - Características cualitativas de 88 accesiones de guayabo cultivadas en Huanusco, México.

Característica	Clases ^Z
<u>Árbol</u>	
Color del tallo	Rojo (13), Verde (75)
Antocianinas en hojas jóvenes	Ausente (9), Presente (79)
Intensidad de antocianinas	Intermedio (15), Débil (73)
Pubescencia abaxial	Ausente (88)
<u>Hojas</u>	
Forma de hoja	Redonda (34), ovalada (40), oblanceolada (2), obtulada (1), oblonga (11)
Curvatura transversal	Fuerte (22), Intermedio (63), Débil (3)
Curvatura longitudinal	Presente (37), Ausente (51)
Curvatura de la nervadura central	Presente (27), Ausente (61)
Grado de curvatura de la nervadura central	Intermedio (14), Débil (40), Ausente (28)
Color del variegado	Ausente (88)
Intensidad del color verde	Verde (88)
Color de la nervadura central abaxial	Ausente (88)
Ancho entre nervaduras secundarias	Amplio (2), Intermedio (38), Corto (48)
Relieve de la superficie adaxial	Liso (87), rugoso (1)
Pubescencia abaxial	Ausente (88)
Ondulación de los márgenes	Presente (84), Ausente (4)
Grado de ondulación	Fuerte (1), Intermedio (15), Débil (72)
Forma de la base	Obtusa (9), redonda (41), cordada (1)
Forma del ápice	Aguda (13), obtusa (36), redonda (2)

<u>Fruto</u>	
Forma de la base del pedúnculo	Truncada (65), Redonda (16), Curva (7)
Color externo	Amarillo (77), Verde oscuro (8), Chapeado (2), Verde (1)
Textura de la superficie	Rugosa (29), semirugosa (58), lisa (1)
Presencia de costillas longitudinales	Presente (61), Ausente (27)
Prominencia de las costillas	Fuerte (1), Intermedio (8), Débil (79)
Ranuras longitudinales	Presente (10), Ausente (78)
Borde de la cavidad del cáliz	Presente (10), Ausente (78)
Color de mesocarpio	Beige (60), blanco (21), rojo (4), rosa (2), rosa púrpura (1)
Arenosidad del mesocarpio	Arenoso (88)
Blandura del mesocarpio	Alta (88)
Jugosidad	Jugoso (10), Intermedio (67), Seco (11)
Acidez	Muy Ácido (3), medianamente ácido (83), bajo (1), no observado (1)
Olor amargo	Amargo (88)

* ^z Los números entre paréntesis indican el número de accesiones observado en cada clase.

Tabla 3 - Resumen estadístico de las características cuantitativas registradas en 88 accesiones de guayabo en Huanusco, México.

Variable	Característica				
	Media	Rango	Varianza	DE ^z	CV (%)
<u>Árbol</u>					
Grosor del tallo desarrollado	0.49	0.2-0.8	0.016	0.13	26.5
<u>Hojas</u>					
Largo de hojas	9.17	5.1-12.5	1.61	1.27	13.8
Ancho de hojas	4.57	2.7-6.9	0.36	0.60	13.1
Largo/Ancho	2.0	1.7-2.2	0.06	0.25	14.1
<u>Fruto</u>					
Diámetro polar (DP)	5.63	3.4-7.6	0.42	0.65	11.5
Diámetro ecuatorial (DE)	4.78	3.6-6.0	0.22	0.47	9.8
DP/DE	1.17	0.9-1.5	0.38	0.62	52.9
Diámetro de la corona del pedúnculo floral	2.02	1.0-2.9	1.08	1.04	51.4
Tamaño de sépalos del cáliz	0.73	0.4-1.2	0.77	0.88	120.5
Diámetro de la cavidad del cáliz	1.0	0.6-10.0	1.82	1.35	135.0
Grosor del mesocarpio	0.65	0.3-1.2	1.18	1.09	167.6
Grado de blandura de mesocarpio	2.84	1.3-6.2	1.76	1.33	46.8
Sólidos solubles totales	13.39	8.9-20.2	3.13	1.77	13.2
Tamaño de semilla	0.020	0.008-0.036	2.19	1.48	7400.0

* ^z DE = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación.

Tabla 4- Vectores característicos de las variables cualitativas y cuantitativas del análisis de componentes principales en guayabo cultivado en Huanusco, México.

	Primer ACP			Segundo ACP		
	1	2	3	1	2	3
Variables Cualitativas						
<u>Árbol</u>						
Color del tallo	0.07	0.03	-0.07	-	-	-
Antocianinas en hojas jóvenes	0.11	0.10	0.48	-	-	-
Intensidad de antocianinas	0.10	-0.02	0.18	-	-	-
Pubescencia abaxial	0.12	0.11	0.09	-	-	-
<u>Hojas</u>						
Forma de hoja	0.10	0.22	0.10	-	-	-
Curvatura transversal	0.37	-0.19	0.03	-	-	-
Curvatura longitudinal	0.27	0.34	-0.22	-	-	-
Curvatura de la nervadura central	0.26	0.17	-0.24	-	-	-
Grado de curvatura de la nervadura central	0.15	0.28	-0.23	-	-	-
Color del variegado	0.46	0.06	-0.14	-	-	-
Intensidad del color verde	-0.07	-0.09	0.20	-	-	-
Color de la nervadura central abaxial	-0.01	-0.19	-0.47	-	-	-
Ancho entre nervaduras secundarias	0.03	0.11	0.12	-	-	-
Relieve de la superficie adaxial	0.02	-0.06	0.01	-	-	-
Pubescencia abaxial	-0.22	0.43	0.09	-	-	-
Ondulación de los márgenes	-0.19	0.01	-0.11	-	-	-
Grado de ondulación	0.30	0.01	-0.02	-	-	-
Forma de la base	0.02	-0.16	0.51*	0.04	-0.22	-0.48
Forma del ápice	-0.20	0.01	0.55*	-0.15	0.20	0.48
<u>Fruto</u>						
Forma de la base del pedúnculo	0.08	-0.33	-0.23	-	-	-
Color externo	-0.12	0.08	-0.05	-	-	-
Textura de la superficie	-0.43	-0.45	-0.01	-	-	-
Presencia de costillas longitudinales	0.45	-0.09	0.14	-	-	-
Prominencia de las costillas	0.49	0.19	0.05	-	-	-
Ranuras longitudinales	-0.07	0.56*	0.08	-0.11	0.48	0.19
Borde de la cavidad del cáliz	0.14	0.08	-0.04	-	-	-
Color de mesocarpio	-0.44	0.21	-0.09	-	-	-
Arenosidad del mesocarpio	-0.02	-0.28	0.09	-	-	-
Blandura del mesocarpio	-0.14	-0.05	-0.41	-	-	-
Jugosidad	-0.01	-0.57*	-0.04	-0.02	-0.33	-0.20
Acidez	-0.50*	0.27	0.02	-0.40	-0.22	0.19
Olor amargo	0.03	0.02	0.02	-	-	-
Variables cuantitativas						
<u>Árbol</u>						
Grosor del tallo desarrollado	0.13	0.59*	-0.10	0.14	0.55*	-0.14
<u>Hojas</u>						
Largo de hojas	0.18	0.05	-0.56*	0.20	0.15	-0.51*
Ancho de hojas	-0.01	-0.33	-0.24	-	-	-
Largo/Ancho	0.25	0.24	0.48	-	-	-
<u>Fruto</u>						
Diámetro polar (DP)	-0.72*	0.44	-0.09	-0.63*	0.46	-0.19
Diámetro ecuatorial (DE)	-0.06	-0.72*	0.22	-0.18	-0.66*	0.22
DP/DE	0.37	0.35	0.48	-	-	-
Diámetro de la corona del pedúnculo floral	0.22	0.23	0.25	-	-	-

Tamaño de sépalos del cáliz	-0.73*	0.12	0.03	-0.70*	0.20	0.09
Diámetro de la cavidad del cáliz	-0.75*	-0.13	0.28	-0.72*	-0.19	0.33
Grosor del mesocarpio	0.09	-0.43	0.13	-	-	-
Grado de blandura de mesocarpio	0.21	0.12	0.18	-	-	-
Sólidos solubles totales	-0.06	-0.05	0.55*	0.10	-0.05	0.50*
Tamaño de semilla	-0.12	-0.16	-0.15	-	-	-
Valor característico	1.89	1.59	1.31	3.3	3.5	3.6
Varianza total explicada (%)	28.1	26.8	22.8	39.3	30.9	19.1
Varianza acumulada (%)	28.1	54.8	77.6	39.3	70.2	89.3



Figura 1- Variación en la forma del fruto y el color del mesocarpio en accesiones de guayabo producidos en la región Calvillo-Cañones, México.

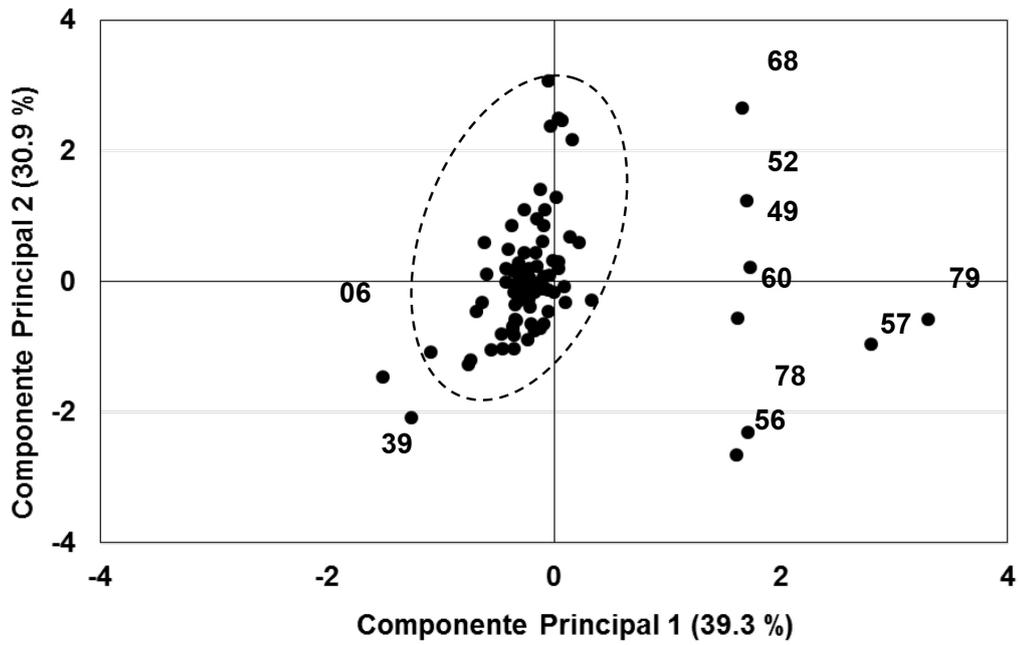


Figura 2- Dispersión de selecciones de guayabo con base en los dos primeros componentes del análisis de componentes principales de datos morfológicos cuantitativos.

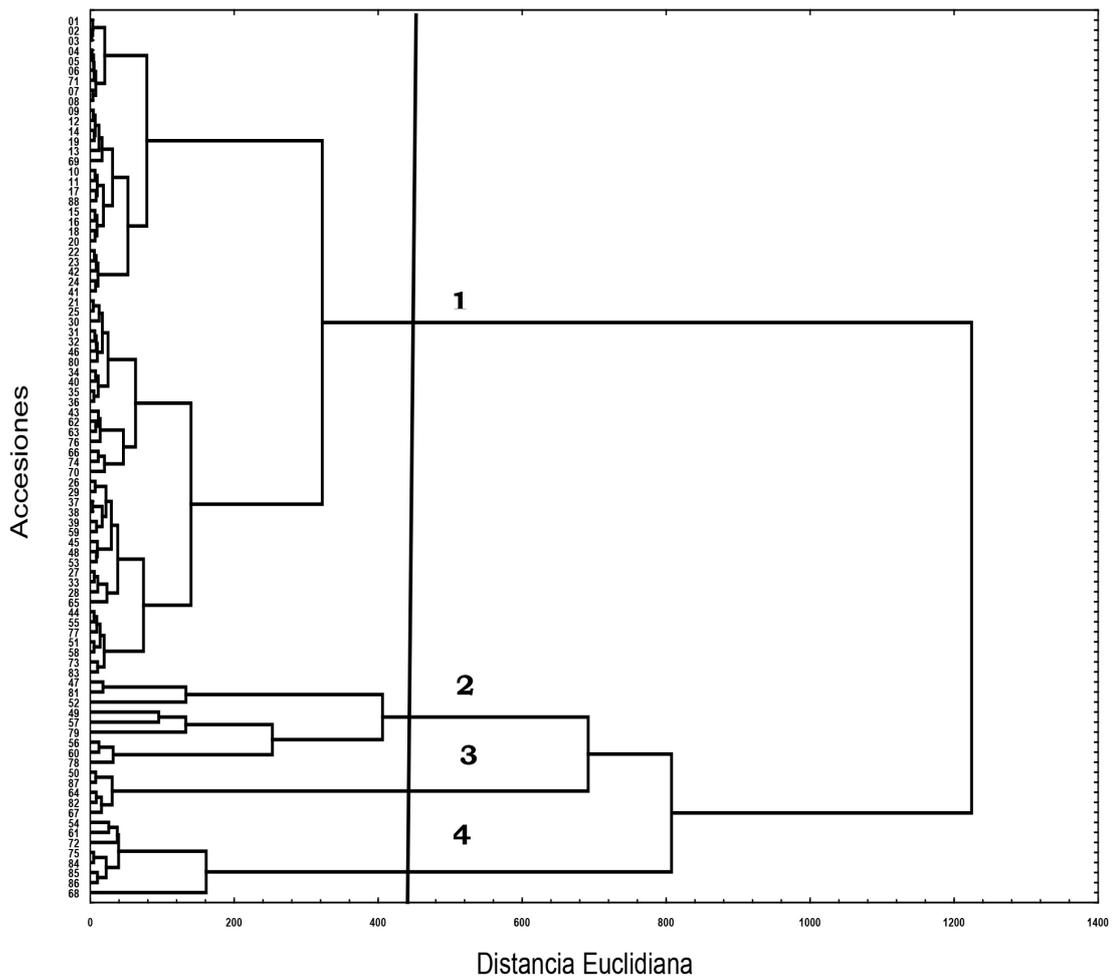


Figure 3 -Dendrograma de 88 accesiones de guayabo de México construido con base en la estimación de las distancias Euclidianas con las siete variables cuantitativas con mayor valor explicativo en el análisis de componentes principales. La línea vertical indica la altura de corte con base en los criterios descritos por Núñez-Colín y Escobedo-López (2011).

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento a este trabajo por parte del SNICS-CONACYT (proyecto clave SNICS-SAGARPA 2004-056) así como al Fondo Mixto-Gobierno del Estado de Aguascalientes (proyecto clave AGS-2011-C03-183934). Los autores son becarios del S.N.I.-CONACYT y SHD y NMP son becarios de los programas EDI y COFAA del Instituto Politécnico Nacional.

Referencias

- ARANGUREN, Y.; VALECILLOS, G. Variability of Venezuelan guava geographic landraces employing phenotypic markers. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.849, p.87-94, 2010.
- BABU, K.D.; PATEL, R.K.; YADAV, D.S. Comparative evaluation of guava selections under north eastern region of India. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.735, p.99-103, 2007.
- CORREA, L.C.; SANTOS, C.A.F.; LIMA, G.G.P. Chemical and biochemical characterization of guava and araca fruits from different regions of Brazil. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.959, p.103-109, 2012.
- COSER, S.M.; FERREIRA, M.F.S.; FERREIRA, A.; MITRE, L.K.; CARVALHO, C.R.; CLARINDO, W.R.; Assessment of genetic diversity in *Psidium guajava* L. using different approaches. **Scientia Horticulturae**, Philadelphia, v.148, p.223-229, 2012.
- DESHMUKH, N.A.; LYNDOH, P.; JHA, A.K.; PATEL, R.K.; DEKA, B.C. Comparative study of newly developed guava hybrids with commercial cultivars under mid-hills of NE India. **The Bioscan**, Jharkhand, v.8, p.1467-1470, 2013.
- EL-SISY, W.A.A.Z. Evaluation of some genotypes of guava trees grown under Alexandria governorate condition I. Vegetative growth, flowering and fruit quality. **World Applied Sciences Journal**, Dubai, v.28, p.583-595, 2013.
- FERNANDES-SANTOS, C.A.; CORREA, L.C.; RODRIGUES-DA COSTA, S. Genetic divergence among *Psidium* accessions based on biochemical and agronomic variables. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Vicoso, MG, v.11, p.149-156, 2011.
- FERNANDES-SANTOS, C.A.; CUNHA-CASTRO, J.M.; FRANCA-SOUZA, F.; ALCANTARA-VILARINHO, A.; FERREIRA, F.R.; GOMES-PADUA, J.; ESTIGARRIBIA-BORGES, R.M.; BARBIERI, R.L.; CLARET DE SOUZA, A.D.G.; AMORIM-RODRIGUES, M. Prospecting and morphological characterization of Brazilian guava germplasm. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.849, p.63-68, 2010.
- GONZÁLEZ-GAONA, E.; PADILLA-RAMÍREZ, J.S.; REYES-MURO, L.; PERALES-DE LA CRUZ, M.A.; ESQUIVEL-VILLAGRANA, F. **Guayaba. Su cultivo en México**. Pabellón de Arteaga: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2002. p. 182. (Libro Técnico, 1)
- HERNÁNDEZ-DELGADO, S.; PADILLA-RAMÍREZ, J.S.; NAVA-CEDILLO, A.; MAYEK-PÉREZ, N. Morphological and genetic diversity of Mexican guava germplasm. **Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization**, Cambridge, v.5, p.131-141, 2007.
- INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía. **Cuadernos estadísticos municipales**. 2015. Disponible em: <<http://www.inegi.gob.mx>>. Acceso em: 10 ene. 2015.
- MARTÍNEZ-DE LARA, J.; BARRIENTOS-LARA, M.C.; REYES-DE ANDA, M.C.; HERNÁNDEZ-DELGADO, S.; PADILLA-RAMÍREZ, J.S., MAYEK-PÉREZ, N. Diversidad fenotípica y genética en huertas de guayabo de Calvillo, Aguascalientes. **Revista Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, v.27, p.243-249, 2004.
- MEHMOOD, A.; JASKAIN, M.J.; KHAN, I.A.; AHMAD, S.; AHMAD, R.; LUO, S.; AHMAD, N.M. Genetic diversity of Pakistani guava (*Psidium guajava* L.) germplasm and its implications for conservation and breeding. **Scientia Horticulturae**, Philadelphia, v.172, p.221-232, 2014.
- MONDRAGÓN-JACOBO, C; TORIZ-AHUMADA, L.M.; GUZMÁN-MALDONADO, S.H. Caracterización de selecciones de guayaba para el Bajío de Guanajuato, México. **Agricultura Técnica en México**, Chapingo, v.35, p.312-319, 2009.
- MONDRAGÓN-JACOBO, C; TORIZ-AHUMADA, L.M.; GUZMÁN-MALDONADO, S.H. Generation of pink-fleshed guava to diversify comercial production in Central Mexico. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.849, p.333-340, 2010.
- NUÑEZ-COLÍN, C.A.; ESCOBEDO-LÓPEZ, D. Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. **Agronomía Mesoamericana**, Alajuela, v.22, p.415-427, 2011.
- PADILLA-RAMÍREZ, J.S.; GONZÁLEZ-GAONA, E. Collection and characterization of Mexican guava (*Psidium guajava* L.) germplasm. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.849, p.49-54, 2010.
- PADILLA-RAMÍREZ, J.S.; GONZÁLEZ-GAONA, E.; AMBRIZ-AGUILAR, J. International market of fresh and processed guava: challenges and perspectives for the Mexican case. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.959, p.15-21, 2012.

- PADILLA-RAMÍREZ, J.S.; GONZÁLEZ-GAONA, E.; ESQUIVEL-VILLAGRANA, F.; MERCADO-SILVA, E.; HERNÁNDEZ-DELGADO, S.; MAYEK-PÉREZ, N. Caracterización de germoplasma sobresaliente de guayabo de la región Calvillo-Cañones, México. **Revista Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, v.25, p.393-399, 2002.
- PADILLA-RAMÍREZ, J.S.; GONZÁLEZ-GAONA, E.; RODRÍGUEZ-MORENO, V.M.; REYES-MURO, L.; OSUNA-CEJA, E.S.; ACOSTA-DÍAZ, E. Varianza entre y dentro e índice de repetitividad de características cuantitativas de fruto de guayaba. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, México, v.4, p. 1423-1432, 2014.
- POMMER, C.V. Guava world-wide breeding: major techniques and cultivars and future challenges. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.959, p.81-88, 2012.
- RAI, M.K.; ASTHANA, P.; JAISWAL, V.S.; JAISWAL, U. Biotechnological advances in guava (*Psidium guajava* L.): recent developments and prospects for further research. **Trees**, Heidelberg, v.24, p.1-12, 2010.
- RODRÍGUEZ, N.N.; FERMÍN, G.A.; VALDÉS-INFANTE, J.; VELÁSQUEZ, B.; RIVERO, D.; MARTÍNEZ, F.; RODRÍGUEZ, J.; RHODE, W. Illustrated descriptors for guava (*Psidium guajava* L.) characterization. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.849, p.103-109, 2010a.
- RODRÍGUEZ, N.N.; VALDÉS-INFANTE, J.; BECKER, D.; VELÁSQUEZ, B.; COTO, O.; RITTER, E.; RHODE, W. Morphological, agronomic and molecular characterization of Cuban accessions of guava (*Psidium guajava* L.). **Journal of Genetics & Breeding**, Rome, v.58p, p.79-90, 2004.
- RODRÍGUEZ, N.N.; VALDÉS-INFANTE, J.; RODRÍGUEZ, J.; VELÁSQUEZ, B.; RIVERO, D.; MARTÍNEZ, F.; GONZÁLEZ, G.; SOURD, D.C.; CANIZARE, J. Genetic resources and breeding of guava (*Psidium guajava* L.) in Cuba. **Biología Aplicada**, La Habana, v.27, p.238-241, 2010b.
- SANABRIA, H.L.; GARCÍA, M.A.; DÍAZ, H.A.; MUÑOZ, J.E. Caracterización morfológica en árboles nativos de guayaba en el Valle del Cauca. **Acta Agronómica**, Palmira, v.54, p.1-6, 2005.
- SÁNCHEZ-URDANETA, A.B.; COLMENARES, C.; BRACHO, B.; ORTEGA, J.; RIVERO, G.; GUTIÉRREZ, G.; PAZ, J. Caracterización morfológica del fruto en variantes de guayabo (*Psidium guajava* L.) en una finca del municipio Mara, estado Zulia. **Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)**, Maracaibo, v.24, p.282-302, 2007.
- SÁNCHEZ-URDANETA, A.B.; PEÑA-VALDIVIA, C.B. Descriptor morfológico para la caracterización del género *Psidium*. **Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)**, Maracaibo, v.28, p.303-343, 2011.
- SÁNCHEZ-URDANETA, A.B.; PEÑA-VALDIVIA, C.B.; COLMENARES, C.B.; ORTEGA-ALCALÁ, J.; BRACHO-BRAVO, Y. Caracterización morfológica de variantes de dos especies de *Psidium*. I. Dosel, tallo y hojas. **Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)**, Maracaibo, v.25, p.1-25, 2008.
- SIAP - Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. **Resumen Nacional por Producto y Estado de la República Mexicana 2013**. 2015. Disponible em: <<http://www.siap.sagarpa.gob.mx>>. Acceso em: 6 ene. 2015.
- TAPIA, P.D.; LEGARIA, J.P. Variabilidad genética en cultivares de guayabo (*Psidium guajava* L.). **Revista Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, v.30, p.391-401, 2007.
- UPOV - International Union for the Protection of New Varieties of Plants. **Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability. Guava (*Psidium guajava* L.)**. Geneva: UPOV, 1987. p.29.
- VALDÉS-INFANTE, J.; RODRÍGUEZ-MEDINA, N.N.; VELÁSQUEZ, B.; RIVERO, D.; MARTÍNEZ, F.; RISTERUCCI, A.M.; BILLOTTE, N.; BECKER, D.; RITTER, E.; RHODE, W. Comparison of the polymorphism level, discriminating capacity and informativeness of morpho-agronomic traits and molecular markers in guava (*Psidium guajava* L.). **Acta Horticulturae**, Leuven, v.849, p.121-132, 2010.
- VALDÉS-INFANTE, J.; RODRÍGUEZ-MEDINA, N.N.; VELÁSQUEZ, J.B.; SOURD, D.G.; GONZÁLEZ, G.; RODRÍGUEZ, J.A.; RHODE, W. Herramientas para un programa de mejoramiento genético del guayabo (*Psidium guajava* L.) en Cuba. **Agronomía Costarricense**, San José, v.36, n.2, p.111-129, 2012.