

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE GERMOPLASMA DE AGUACATE MEXICANO (*Persea americana* var. *drymifolia*, LAURACEAE)

Salvador Montes-Hernández, Juan Diego de la Torre-Vizcaino, Elena Heredia-García, Miguel Hernández-Martínez y María Guadalupe Camarena-Hernández

RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar la variabilidad morfométrica existente en el banco de germoplasma de aguacate (*Persea americana* var. *drymifolia*), del Campo Experimental Bajío, en Celaya Guanajuato, México, se evaluaron 114 accesiones, de 35 poblaciones, que se encuentran en un huerto común. Para determinar las relaciones morfológicas entre las poblaciones se registraron 21 variables cuantitativas de hoja y fruto, con las que se hicieron análisis estadísticos descriptivos, de agrupamiento con base en la distancia euclidiana y de análisis de componentes principales (ACP). La variación y diferenciación morfológica entre poblaciones fue muy alta, los coeficientes de variación (CV) oscilaron entre 11,37 a 77,6 con media de 28,63. El ACP indicó que el peso del fruto y del mesocarpio,

y el diámetro del fruto, fueron las características que mostraron mayor variación; los tres primeros componente principales explicaron el 62,2% de la variación total. El análisis evidenció la formación de siete grupos; los dos primeros representados por una sola accesión, el tercer grupo incluyó al 14,03% y el cuarto grupo al 9,65% de las accesiones; estos cuatro grupos se distinguieron por medias pequeñas en las variables cuantitativas, en su mayoría relacionadas con el fruto. El grupo cinco estuvo representado por una sola población, el grupo seis agrupó dos accesiones y el grupo siete incluyó al 71,93% del total de las accesiones estudiadas y se distingue por presentar valores promedios altos en las variables cuantitativas, en su mayoría relacionadas con el fruto.

Introducción

Mesoamérica es considerada el centro de origen y diversidad del aguacate (*Persea americana* Mill.), ya que la mayoría de sus poblaciones consideradas primitivas crecen principalmente en esta región, desde la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León, México, hasta Costa Rica en Centroamérica (Bergh y Ellstrand, 1986; Storey *et al.*, 1986; Ben Ya'acov *et al.*, 1992; Galindo-Tovar *et al.*, 2008). Además, su uso se remonta a más de 8000 años, como lo demuestran evidencias arqueológicas localizadas en la misma zona (Smith, 1966), en donde se mantiene una cultura gene-

ralizada sobre su conocimiento, conservación y uso (Gama y Gómez, 1992; Galindo-Tovar *et al.*, 2007).

Persea americana se distribuye desde el nivel del mar, hasta los 2200msnm. Actualmente se encuentra presente en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo, en más de 50 países con una producción promedio de $4,3 \times 10^6$ t/año (FAOSTAT, 2015).

Los aguacates cultivados se han dividido en tres razas (Bergh y Ellstrand, 1986): mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*), guatemalteca (*P. americana* var. *guatemalensis*) y antillana (*P. americana* var. *americana*). Ben-Ya'acov *et al.* (1992) sugirieron una nueva raza, *P. americana* var.

costaricensis. Cada una de las razas mantiene características específicas en su morfología, fenología, ecología y adaptación, y forman parte de la diversidad del género (Barrientos-Priego, 2010).

En México, el aguacate presenta una gran diversidad genética con grandes posibilidades para su aprovechamiento, debido a que es una especie nativa y presenta una biología floral que propicia su polinización cruzada (Storey *et al.*, 1986; Galindo-Tovar *et al.*, 2011). Esta diversidad se manifiesta en diversos caracteres, tales como forma, color, tamaño y sabor de las hojas y frutos, y en su fenología (Rhodes *et al.*, 1971; Acosta *et al.*, 2013), por lo que

es importante hacer un uso adecuado de ella y aprovechar variedades locales y portainjertos adaptados a las condiciones ambientales cambiantes, consecuencia del cambio climático, lo cual debe influir en el mejoramiento de la especie (Storey *et al.*, 1986; Ben Ya'acov *et al.*, 1992; Gama y Gómez, 1992).

Las poblaciones locales o criollas se ven desplazadas y amenazadas cada vez más por diversos factores como el incremento en la población humana y la deforestación, pero principalmente por el incremento de áreas cultivadas con variedades uniformes introducidas (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009; Barrientos-Priego, 2010). Durante las últimas cuatro

PALABRAS CLAVE / Aguacate / Análisis Multivariado / Conservación / Diversidad / Germoplasma / *Persea americana* / Recursos Genéticos /

Recibido: 21/07/2016. Modificado: 13/02/2017. Aceptado: 16/02/2017.

Salvador Montes-Hernández. Ingeniero Agrónomo, Maestro en Ciencias en Botánica Agrícola y Doctorado en Ciencias en Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Dirección: Campo Experimental Bajío, INIFAP. Km. 6.5 Carr. Celaya - San Miguel de Allende. Apdo. Postal 112. 38110, Celaya Gto., México. e-mail: montes.salvador@inifap.gob.mx

Juan Diego de la Torre-Vizcaino. Ingeniero Agrónomo y Maestro en Genética Vegetal, Cole-

gio de Postgraduados (CP), México. Investigador, INIFAP, México.

Elena Heredia-García. Ingeniera Agrónoma y Maestra en Genética Vegetal, CP, México. Investigadora, INIFAP, México.

Miguel Hernández-Martínez. Ingeniero Agrónomo, Maestro

y Doctorado en Ciencias en Genética Vegetal, CP, México. Investigador INIFAP, México.

María Guadalupe Camarena-Hernández. Ingeniera Agrónoma, Instituto Tecnológico de Roque, México. Técnico INIFAP, México.

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF MEXICAN AVOCADO (*Persea americana* var. *drymifolia*, LAURACEAE) GERMPLASM

Salvador Montes-Hernández, Juan Diego de la Torre-Vizcaino, Elena Heredia-García, Miguel Hernández-Martínez and María Guadalupe Camarena-Hernández

SUMMARY

In order to characterize the morphometrical variability present in the avocado (*Persea americana* var. *drymifolia*) germplasm bank at Campo Experimental Bajío, in Celaya Guanajuato, Mexico, 114 accessions, from 35 populations and, growing in a common orchard were evaluated. Morphological relations between these populations were evaluated in 21 quantitative variables of leaf and fruit. Data were analyzed using descriptive statistics, clustering based on Euclidean distance and, principal component analysis (PCA). Variation and morphological differentiation between populations was very large and, coefficients of variation (CV) ranged from 11.37 to 77.6 with an average of 28.63. PCA analysis indicated that fruit and

mesocarp weight, and fruit and mesocarp diameter, showed the highest variation; the first three principal components accounted for 62.2% of the total variation. Results showed seven groups, the first two groups were represented by a single accession, the third group included 14.03% of the accessions and the fourth group 9.65% of the total; these four groups were distinguished by presenting small average quantitative variables, mostly related to the fruit. Group five was represented by a single population, group six grouped two accessions, and the seventh group accounted for 71.93% of the total accessions studied and was distinguished by presenting high mean values of the quantitative variables, mostly related to the fruit.

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO GERMOPLASMA DE ABACATE MEXICANO (*Persea americana* var. *drymifolia*, LAURACEAE)

Salvador Montes-Hernández, Juan Diego de la Torre-Vizcaino, Elena Heredia-García, Miguel Hernández-Martínez e Maria Guadalupe Camarena-Hernández

RESUMO

A fim de caracterizar a variabilidade morfológica existentes no genebank de abacate (*Persea americana* var. *drymifolia*), localizado no Campo Experimental Bajío, Celaya Guanajuato, México, 114 acessos, 35 populações, que estão em um jardim comum avaliadas. Para determinar as relações morfológicas entre as populações incluiu 21 variáveis quantitativas de folhas e frutos foram registrados, com o qual descritiva as análises estatísticas foram feitas, o agrupamento com base na distância euclidiana e de componentes principais (ACP). Variação e diferenciação morfológica entre as populações foi muito elevados coeficientes de variação (CV) variou de 11,37-77,6 com média de 28,63. O ACP indicou que o peso do fruto e mesocarpio e frutas diâmetro

foram as características que apresentaram maior variação; o primeiro componente de três principais foram responsáveis por 62,2% da variação total. A análise mostrou a formação de sete grupos, os dois primeiros foram representados por um único acesso, o terceiro grupo incluiu 14,03% dos acessos e o quarto grupo considera 9,65% do total, estes quatro grupos foram distinguidos por pequenas e médias presente nas variáveis quantitativas, sobretudo relacionadas com a fruta. O grupo de cinco foi representado por uma única população, o grupo de seis amalgamados dois acessos e sete grupo incluía 71,93% do total de acessos estudados, que se distingue por valores médios elevados em variáveis quantitativas, principalmente relacionados com a fruta.

décadas, los materiales nativos y silvestres de aguacate han estado desapareciendo rápidamente, al igual que otras especies nativas (Ben Ya'acov *et al.*, 1992).

Por lo antes mencionado es necesario desarrollar nuevas estrategias de conservación y uso sustentable de los recursos genéticos mexicanos del aguacate. Al respecto, en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) ubicado en Celaya Guanajuato, México, existe un banco de germoplasma de aguacate, principalmente de la raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*). Su establecimiento inició en 1972 y cuenta

con variedades locales de la zona y de otras partes de México. Su fin es conservar el germoplasma de esta especie, siendo necesario estudiarlo y conocerlo para poder utilizar la diversidad ahí representada.

Con respecto a la caracterización agromorfológica, Acosta *et al.* (2012, 2013) evaluaron un grupo de variedades locales de aguacate del estado de Nuevo León. Ellos utilizaron caracteres morfológicos del fruto como longitud del pedúnculo, diámetro polar, diámetro ecuatorial, peso, peso del mesocarpio y peso de la semilla, los cuales ayudaron a clasificar la variación y diferen-

ciar varios grupos con posibilidades de aprovechamiento. Gutiérrez-Díez *et al.* (2009) realizaron un estudio de diversidad de variantes locales de aguacates, con base en características morfológicas tales como peso, longitud y diámetro de fruto; peso, longitud y diámetro de semilla; y longitud y diámetro de la cavidad de la semilla; además de las relaciones longitud/diámetro de fruto y peso de semilla/peso de fruto, con las cuales pudieron representar y agrupar la variación existente en las poblaciones estudiadas.

El objetivo del presente estudio fue caracterizar la variabi-

lidad de 21 atributos morfométricos de hoja y fruto de 114 accesiones de aguacate de la raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*), procedentes de 35 poblaciones, que crecen en el Campo Experimental Bajío, de Celaya, Guanajuato, México.

Material y Métodos

Material vegetal y diseño experimental

En la Tabla I se presenta la lista de las 114 accesiones analizadas del banco de germoplasma de aguacate del Campo Experimental Bajío (CEBAJ),

TABLA I
ACCESIONES UTILIZADAS EN LA CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE *Persea americana* VAR. *drymifolia* DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL CAMPO EXPERIMENTAL BAJÍO, INIFAP, MÉXICO

Número BG*	Lugar de colecta	Municipio	Edo.	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
1-3, 100	La Larga S.J. de la Vega	Celaya	Gto.	20°37'34"	100°45'39"	1770
4-12	El Pitayo, de S.J. de la Vega	Celaya	Gto.	20°37'34"	100°45'39"	1770
13	La Soledad Melgarito, S.J. de la Vega	Celaya	Gto.	20°37'34"	100°45'39"	1770
14-17	Los Pérez, S.J. de la Vega	Celaya	Gto.	20°37'34"	100°45'39"	1770
18-19	La China, S.J. de la Vega	Celaya	Gto.	20°37'34"	100°45'39"	1770
21	El Callejón, S.J. de la Vega	Celaya	Gto.	20°37'34"	100°45'39"	1770
22	Celaya	Celaya	Gto.	20°34'56"	100°49'00"	1760
23	La Vega, S.J. de la Vega	Celaya	Gto.	20°39'02"	100°46'09"	1760
24-27	Virela	Comonfort	Gto.	20°43'59"	100°45'53"	1800
28-32, 39	Quinta Morse	Comonfort	Gto.	20°46'44"	100°50'29"	1900
33-35, 45, 101-102	Hda. Sta. Amalia, Orduña de Arriba	Comonfort	Gto.	20°42'57"	100°45'57"	1800
36-38	La Ideal	Comonfort	Gto.	20°42'54"	100°46'25"	1800
40-44	Comonfort	Comonfort	Gto.	20°42'54"	100°45'24"	1790
46-47	La Nopalera	Comonfort	Gto.	20°46'15"	100°48'09"	1820
49-50, 52-55			Pue.			
57-61		Tetela del Volcán	Mor.	18°53'35"	098°43'47"	2200
63-64	Alpatlahuac	Calchahualco	Ver.	19°07'08"	097°05'30"	1860
65-66, 68-70	Maquixtla	Calchahualco	Ver.	19°08'10"	097°08'36"	2140
71	Tepanquiahuac	Calchahualco	Ver.	19°08'21"	097°08'03"	2060
72-73	Escola	Calchahualco	Ver.	19°08'18"	097°07'23"	1900
74	Cruz Verde	Calchahualco	Ver.	19°08'14"	097°06'28"	1940
75-76	Ixtayuca	Coscomatepec	Ver.	19°03'42"	097°04'31"	1720
77	Tecoatl	Coscomatepec	Ver.	19°03'43"	097°06'48"	1900
78	Tetelcingo	Coscomatepec	Ver.	19°03'02"	097°08'44"	2320
79-92, 94	Olmos	Coscomatepec	Ver.	19°05'39"	097°05'35"	1500
97-99	El Potrero, de S.J. de la Vega	Celaya	Gto.	20°37'34"	100°45'39"	1770
103-104, 110-113	Las Tapias	Comonfort	Gto.	20°44'51"	100°45'39"	1800
105	La Candelaria	Comonfort	Gto.	20°42'50"	100°45'25"	1790
106-109	El Magueyal	Comonfort	Gto.	20°42'54"	100°45'24"	1790
114-116	La Huerta	Sn. Miguel de Allende	Gto.	20°49'17"	100°49'43"	1860
117	Neutla	Comonfort	Gto.	20°42'24"	100°50'19"	1870
118						
119, 124-125	Policlínica	Periban de Ramos	Mich.	19°31'16"	102°24'54"	1640
121-122	La Pinera	Uruapan	Mich.	19°16'29"	102°06'00"	1080
131		General Terán	N L.	25°15'35"	099°40'55"	0310

* Número BG: número de registro dentro del banco de germoplasma de aguacate del Campo Experimental Bajío, en Celaya, Guanajuato, México.

ubicado en 20°34'51,43"N y 100°49'09,60"O a 1765msns), dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Celaya, Guanajuato, México. El clima local es semiárido semicalido (BS1hw) y el suelo es migajón arenoso. El material caracterizado se encuentra establecido en un banco/huerto de germoplasma de campo común, con hileras establecidas cada 10m con 5m de separación entre plantas, con manejo bajo condición de riego y prácticas culturales propias de este tipo de plantaciones. La información se registró durante dos años (2004 y 2005), tomando una muestra promedio de tres árboles por accesión. Se registraron 21 variables cuantitativas relativas a la hoja y fruto. El diseño experimental usado para la evaluación de los resultados fue completamente al azar.

Variables morfológicas cuantificadas

Las características evaluadas fueron: a) Hoja - se midió (mm) la longitud (LARHOJ), ancho (ANCHOJ) y longitud del peciolo (LONPEC) de cinco hojas completamente desarrolladas por árbol maduro, y se muestrearon 342 árboles en total. b) Fruto - en madurez fisiológica se registró peso (PEFRFI), diámetro (ANCFRU), longitud (LONFRU), y se calculó el índice diámetro/longitud (REDLFR), y peso a madurez de consumo (PEFRCO) de cinco frutos por árbol, con 342 árboles muestreados. c) Perianto - se midió la longitud (LONPER), y espesor (ESPPER) en mm, de cinco frutos. d) Pedúnculo - se registró la longitud (LONPED) y diámetro (DIAPED) en mm. e) Mesocarpio - se midió el espesor (ESPMES), ángulo que

forma con el pedúnculo (ANGPED) y peso (PEMES) de tres frutos por árbol, en madurez de consumo. f) Lóculo del fruto - se registró la longitud (LONLOC) y el diámetro (DIALOC) de los mismos tres frutos. g) Semilla - se midió la longitud (LONSEM), diámetro (DIASEM), índice longitud/diámetro (REDLSE) y peso (PESSEM) de los tres frutos en madurez de consumo. Todas estas variables fueron tomadas con base en el descriptor específico para este cultivo (IPGRI, 1995).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante análisis de una vía y conglomerados con el método UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*). Se estimaron la media, desviación estándar y coefi-

ciente de variación. Se efectuaron análisis de componentes principales (ACP), métodos jerárquicos de análisis por conglomerados (ACJ). Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico JMP-SAS versión 3.2.1 y 6.0.0 (SAS, 2012). El dendrograma UPGMA se construyó con la distancia promedio.

Resultados y Discusión

Estadísticos descriptivos

El análisis de una vía mostró una elevada variación en la mayoría de las características medidas en las poblaciones en estudio (Tabla II). Las características que mostraron mayor coeficiente de variación (CV) fueron ángulo del pedúnculo del fruto (77,86), peso del mesocarpio (54,79), peso del fruto en madurez de consumo (46,42) y

TABLA II
ACCESIONES UTILIZADAS EN LA CARACTERIZACIÓN
MORFOLÓGICA DE *PERSEA americana* VAR. *drymifolia*
DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL CAMPO
EXPERIMENTAL BAJÍO, INIFAP, MÉXICO

Variables	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. Est.	Coef. Var.
LARHOJ	139	179	110	15,8	11,37
ANCHOJ	62	81	44	7,7	12,42
LONPEC	32	48	21	5,7	17,81
PEFRFI	152	296	35	68,7	45,20
PEFRCO	134	285	30	62,2	46,42
ANCFRU	54	74	36	9,9	18,33
LONFRU	98	150	46	22,8	23,27
REDLFR	2	3	1	0,3	15,00
LONPER	11	22	4	3,2	29,09
ESPPER	6	9	1	1,4	23,33
LONPED	62	124	11	20,9	33,71
DIAPED	4	8	3	1	25,00
ESPMES	9	25	4	3,1	34,44
ANGPED	14	55	5	10,9	77,86
PESMES	94	219	18	51,5	54,79
LONLOC	57	99	29	12,3	21,58
DIALOC	33	50	19	6,3	19,09
LONSEM	52	73	31	9,4	18,08
DIASEM	34	47	22	5,6	16,47
REDLSE	2	2	1	0,3	15,00
PESSEM	38	91	9	16,3	42,89

LARHOJ: longitud de hoja, ANCHOJ: ancho de hoja, LONPEC: longitud del pedúnculo, PEFRFI: peso del fruto en madurez fisiológica, ANCFRU: diámetro del fruto, LONFRU: longitud del fruto, REDLFR: índice diámetro/longitud de fruto, PEFRCO: peso del fruto a madurez de consumo, LONPER: longitud del perianto, ESPPER: espesor del perianto, LONPED: longitud del pedúnculo, DIAPED: diámetro del pedúnculo, ESPMES espesor del mesocarpio, ANGPED: ángulo que forma el mesocarpio con el pedúnculo, PESMES: peso del mesocarpio, LONLOC: longitud del lóculo del fruto, DIALOC: diámetro del lóculo del fruto, LONSEM: longitud de semilla, DIASEM: diámetro de semilla, REDLSE: índice longitud/diámetro de semilla, PESSEM: peso de semilla.

peso de fruto en madurez fisiológica (45,20). Los menores CV fueron presentados por la anchura de hoja (12,42) y la longitud de la hoja (11,37). Estos resultados indican que existe una elevada variación dentro de las poblaciones en la gran mayoría de las características medidas, de acuerdo a diversos investigadores que han considerado que los CV>20% indican la presencia de variación elevada dentro de poblaciones vegetales. Gutiérrez-Díez *et al.* (2009, 2015) señalaron diversas variables que mostraron CV>20% en aguacate y las consideraron clasificatorias para medir la variación; entre ellas estuvieron el peso de la semilla (39,42%), peso del fruto (38,42%), longitud de la cavidad de semilla (24,82%) y longitud del fruto (20,34%). Los promedios, desviación estándar y coeficientes de variación han sido también usados en estudios de la diversidad en otras especies de plan-

tas cultivadas, como los de Nooryazdan *et al.* (2010) y Kholghi *et al.* (2011), en los que interpretaron los CV>20% como la presencia de una amplia variación dentro de poblaciones de girasol (*Helianthus annuus* L.). Franco e Hidalgo (2003) señalaron que CV>50% sugieren alta variabilidad y los valores <20% indican poca variabilidad dentro de una especie vegetal determinada.

Diferenciación morfológica entre poblaciones

Las accesiones de *Persea americana* var. *drymifolia* se diferenciaron significativamente ($p \leq 0,05$) en todas las características evaluadas, principalmente en los caracteres relacionados con la calidad del fruto, como lo son el peso del mesocarpio o pulpa, que tuvo un diferencial de 12,1 veces entre el valor más pequeño al valor más alto, significando una

diferencia en valores promedio de 18 hasta 219g (accesiones 77 y 102, respectivamente). La longitud del pedúnculo mostró una diferencia de 11,3 veces entre el valor mínimo registrado y el de mayor valor, con el valor promedio más pequeño de 1,1cm (accesión 66) y de 12,4cm (accesión 71) el más grande. En el peso de la semilla, el valor promedio mayor fue de 91g (accesión 59) y el más pequeño registrado fue de 9g (accesión 77), lo que significó un incremento de 10,1 veces entre el valor menor y el máximo registrado. El peso fresco del fruto en madurez de consumo registró un peso promedio de 30g (accesión 77) como valor más bajo y de 285g (accesión 60) el promedio del peso más alto, con un diferencial en 9,5 veces entre los dos, relación que fue similar a la observada en el peso de los frutos a madurez fisiológica, variando de 296g (accesión 102) en los frutos más pesados a 35g (accesión 77) en los más livianos.

Los caracteres relativos a la hoja (ancho y largo) fueron los que mostraron menores diferencias entre los valores mínimos y los más altos; para lo ancho los valores oscilaron entre 81 y 44mm, (accesiones 87 y 83, respectivamente), mientras que para lo largo 110mm (accesión 64) fue el valor más bajo y 179mm (accesión 16) el más alto. Aun cuando las poblaciones de aguacate estudiadas provinieron de pocas regiones de México, las características climáticas diferentes pueden explicar las diferencias muy altas en los valores promedios de los caracteres evaluados y su desviación estándar. Al respecto, Acosta *et al.* (2013), al caracterizar 19 variedades locales de aguacate, pudieron identificar tres grupos en el peso del fruto y peso del mesocarpio, considerando los intervalos de los valores medidos. Las poblaciones integrantes de cada grupo mostraron características similares a tres variedades locales cultivadas por los agricultores, lo cual significó alternativas para los productores de la región norte del estado de Nuevo León al

ampliar la oferta de variedades de aguacate, ya que estos materiales cumplen las expectativas de manejo y de los requerimientos del mercado regional. Ello es un indicador de la existencia de variabilidad genética expresada como diversidad fenotípica y apunta a que se trata de variantes genotípicas asociadas a la variación ambiental y a los usos del cultivo (Gama y Gómez, 1992; Galindo-Tovar *et al.*, 2008). Esas variedades han sido cultivadas y seleccionadas por los agricultores en forma diferencial, como también ha sido reportado en aguacate de Colombia (Cañas-Gutiérrez *et al.*, 2015) y de Nayarit, México (López-Guzmán *et al.*, 2015).

Análisis de componentes principales y caracterización de grupos

Los tres primeros componentes principales explicaron el 62,2% de la variación total (Tabla III). El primer componente presentó una mayor asociación con el peso del fruto a madurez fisiológica (vector propio de 0,34), peso del fruto a madurez de consumo (0,33), diámetro de fruto (0,32) y peso del mesocarpio (0,31); es decir, con el tamaño del fruto y peso de mesocarpio (Tabla IV). El segundo componente estuvo asociado a la relación longitud/diámetro de la semilla (0,49), relación longitud/diámetro del fruto (0,44), diámetro del lóculo de la semilla (-0,29) y largo de la hoja (0,28). El tercer componente se asoció principalmente con la longitud del perianto (0,53), espesor del perianto (0,28) y la longitud de pedúnculo (0,22). En los dos primeros componentes predominaron caracteres de fruto (Tabla IV). El análisis de componentes principales (CP) permitió determinar la relación entre las variables y la semejanza de las muestras. Al respecto Gutiérrez-Díez *et al.* (2009), en un estudio con aguacates locales de Nuevo León, México, señalaron que los CP1 y CP2 representaron 75,8% de la varianza absoluta, siendo que valores mayores al 60-70% explican un porcentaje razonable de la variabilidad total de las muestras. Así mismo,

TABLA III
VALORES PROPIOS Y PROPORCIÓN DE LA VARIACIÓN EXPLICADA POR LOS PRIMEROS TRES COMPONENTES PRINCIPALES EN AGUACATE

Componentes principales	Valor propio	Valor propio acumulado	Proporción de varianza total explicada (%)	
			Absoluta	Acumulada
1	8,5119	8,5119	38,69	38,69
2	3,2999	11,8119	15,04	53,69
3	1,8613	13,6733	8,46	62,15

TABLA IV
VALORES DE LOS VECTORES DE LOS PRIMEROS TRES COMPONENTES PRINCIPALES EN 114 ACCESIONES DE AGUACATE DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL CAMPO EXPERIMENTAL BAJÍO

Variabes	CP1	CP2	CP3
LARHOJ	0,10	0,28	0,10
ANCHOJ	0,02	0,23	0,11
LONPEC	-0,02	0,19	0,15
PEFRFI	0,33	-0,03	0,10
PEFRCO	0,33	-0,03	0,08
ANCFRU	0,32	-0,14	0,09
LONFRU	0,28	0,21	-0,06
REDLFR	0,06	0,44	-0,17
LONPER	0,01	0,10	0,53
ESPPER	0,22	-0,07	-0,28
LONPED	-0,04	0,12	0,22
DIAPED	0,14	-0,17	0,03
ESPMES	0,24	-0,00	0,14
ANGPED	-0,01	0,12	0,22
PESMES	0,31	0,00	0,08
LONLOC	0,26	0,24	-0,08
DIALOC	0,27	-0,29	0,09
LONSEM	0,26	0,24	-0,10
DIASEM	0,26	-0,26	0,05
REDLSE	0,03	0,49	-0,15
PESSEM	0,27	-0,05	0,00

* Los significados de los acrónimos se muestran en el Tabla II.

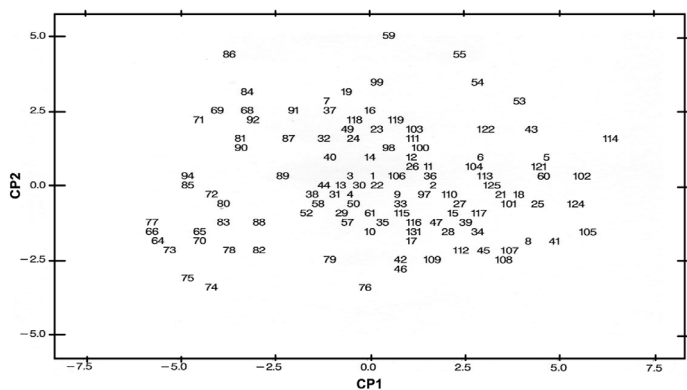


Figura 1. Diagrama de ordenación de 114 accesiones de aguacate de la raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*) del banco de germoplasma del Campo Experimental Bajío, con base en los componentes principales 1 y 2. Cada número corresponde al número de registro indicado en la Tabla I.

Rhodes *et al.* (1971) y Cañas-Gutiérrez *et al.* (2015) mencionaron las bondades de usar este método de ordenación para

clarificar la diversidad en aguacate y sobre todo para determinar qué tanta variación se explica por cada uno de los compo-

nentes principales generados. Por su parte, López-Guzmán *et al.* (2015) encontraron en un estudio similar que los tres primeros componentes principales explicaron el 53,8% de la variación total y fueron muy similares los caracteres asociados a los primeros dos componentes principales.

En la Figura 1 se aprecia la ordenación de las poblaciones sobre el eje del CP 1, donde las poblaciones ubicadas en el lado positivo mostraban los valores más altos de pesos del fruto y del mesocarpio y en el lado negativo se muestran las poblaciones con los valores más pequeños. Para el CP 2, las poblaciones con mayor valor en los índices o relaciones, longitud/diámetro de la semilla y del lóculo de la semilla del fruto, y largo de la hoja se ubicaron en el lado positivo de dicho componente.

Análisis de conglomerados y formación de grupos

El análisis de agrupamiento efectuado con el método UPGMA diferenció a las poblaciones en siete grupos (Figura 2). El grupo 1 estuvo representado únicamente por la accesión 24 y en el grupo 2 apareció solamente la accesión 59. En el grupo 3 se incluyeron 16 accesiones (64, 65, 66, 70, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 82, 83, 85, 88 y 94), que representan el 14,03% del total. El grupo 4 estuvo formado por 11 accesiones (19, 68, 69, 71, 81, 84, 86, 87, 90, 91 y 92), que constituyen el 9,65%. El grupo 5 estuvo formado únicamente por la accesión 102. El grupo 6 incluyó las accesiones 39 y 25. Por último, las restantes 82 accesiones estudiadas quedaron ubicadas en el grupo 7 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 60, 61, 76, 79, 89, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 124, 125 y 131), que alcanzaban el 71,93%.

Los primeros cuatro grupos se caracterizaron por tener un menor tamaño del fruto, expresado en menores pesos y dimensiones, e incluyeron principalmente poblaciones originarias del estado de Veracruz. En el grupo 7 se presentaron los frutos de mayor longitud, anchura y peso, y mayor tamaño de la semilla del fruto; este grupo estuvo representado por accesiones de Michoacán y principalmente de Guanajuato. Por ende, los grupos formados de las accesiones de aguacate estudiadas, presentaron cierta relación con su origen geográfico o procedencia.

Gutiérrez-Díez *et al.* (2009; 2015) reportaron que el peso de semilla, peso de fruto, longitud de la cavidad de semilla y longitud de fruto en aguacate tuvieron la mayor influencia en la clasificación de las muestras estudiadas. Se señala que además del uso de las mediciones de caracteres individuales, la incorporación de las relaciones longitud de fruto/diámetro de fruto, y peso de semilla/peso de fruto en el análisis de agrupamiento, incrementó la información de similitud entre las muestras, ya que evaluaron con mayor exactitud la influencia de los atributos del fruto y de la semilla en la formación de los grupos (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009, 2015). Acosta *et al.* (2012), lograron clasificar en grupos todos los materiales estudiados con los caracteres evaluados del fruto, de una manera muy similar a las clasificaciones de los productores.

Estos estudios revelan la amplia variación genética en los materiales criollos de aguacate cultivados en la región norte del estado de Nuevo León, en coincidencia con los resultados del presente trabajo y abren la posibilidad de utilizar estos materiales en programas de diversificación de la producción. Situación similar reporta López-Guzmán *et al.* (2015), quienes presentan una clasificación muy similar de las poblaciones de aguacate estudiadas y consideran que las características morfológicas evaluadas podrían usarse como criterio de

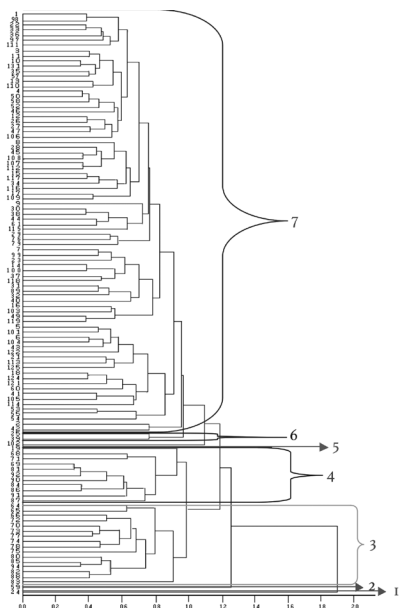


Figura 2. Dendrograma obtenido del análisis de agrupamiento con el método UPGMA para 21 caracteres morfológicos de 114 accesiones de aguacate de la raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*) del banco de germoplasma del Campo Experimental Bajío, con base en distancias euclidianas. Cada número corresponde al número de registro indicado en el Tabla I.

selección y diferenciación de genotipos de aguacate nativo en la zona tropical de Nayarit. Una caracterización similar se ha iniciado en el banco de germoplasma de aguacate del CEBAJ, del INIFAP ubicado en Celaya, Guanajuato, para justificar el ofertar las accesiones promisorias (6 y 35) de las aquí estudiadas, que poseen las características de calidad demandadas por el mercado para este tipo de variedades locales en la región (Mondragon *et al.*, 2011).

Conclusiones

Las accesiones de *Persea americana* var. *drymifolia* del banco de germoplasma del Campo Experimental Bajío, INIFAP, mantienen elevada variación en las características morfológicas medidas dentro y entre ellas, indicando que esta colección de germoplasma representa un recurso genético valioso que debe ser más estudiado para su conservación y mejorar su uso. Tal variación se manifiesta como un conti-

nuo en los valores de los diferentes atributos medidos.

Los análisis univariados y multivariados diferenciaron claramente a las poblaciones de aguacate estudiadas; debido a que las plantas crecieron en un ambiente común, puede asumirse que existen diferencias genéticas entre estas poblaciones.

Los grupos formados por las accesiones de aguacate del banco de germoplasma del Campo Experimental Bajío, presentaron cierta relación con su origen geográfico o procedencia.

Las características principales sujetas a selección por el agricultor están relacionadas con el tamaño y calidad del fruto, con una tendencia a desarrollar poblaciones locales para diferentes condiciones ambientales de México. De las 114 accesiones del banco de germoplasma de aguacate (*Persea americana*) evaluadas en el presente estudio, al menos (6 y 35) presentaron características morfológicas sobresalientes de fruto, lo que representa una alternativa para los productores de aguacate del país y para diversificar la producción de aguacate local.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI), coordinado por el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) de la Secretaría de Agricultura, Gadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, por el financiamiento que hizo posible la realización del presente trabajo a través del Proyecto "Banco Nacional de Germoplasma de Aguacate" (AGUA-01).

REFERENCIAS

Acosta DE, Hernández TI, Almeyda LIH (2012) Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León,

- México: región sur. *Rev. Mex. Cs. Agríc.* 3: 245-257.
- Acosta DE, Almeyda LIH, Hernández TI (2013) Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región norte. *Rev. Mex. Cs. Agríc.* 4: 531-542.
- Barrientos-Priego AF (2010) El aguacate. *Biodiversitas* 88: 1-7.
- Ben-Ya'acov A, Bufler G, Barrientos-Priego AF, de la Cruz-Torres E, López-López L (1992) A study of avocado germplasm resources, 1988-1990. I. General description of the international project and its findings. *Proc. 2nd World Avocado Congr.* pp. 535-541.
- Bergh B, Ellstrand N (1986) Taxonomy of the avocado. *Calif. Avoc. Soc. Yearbk.* 70: 135-146.
- Cañas-Gutiérrez GP, Galindo-López LF, Arango-Isaza R, Saldamando-Benjumea CI (2015) Diversidad genética de cultivares de aguacate (*Persea americana*) en Antioquia, Colombia. *Agron. Mesoam.* 26: 129-143.
- FAOSTAT (2015) *Production Crops.* Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma, Italia. <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S> (Cons. 05/2015).
- Franco TL, Hidalgo R (2003) Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Bol. Técn. N° 8.* Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. 89 pp.
- Galindo-Tovar ME, Arzate-Fernández A, Ogata-Aguilar N, Landero-Torres A (2007) The avocado (*Persea americana*, Lauraceae) Crop in Mesoamerica: 10,000 years of history. *Harv. Papers Bot.* 12: 325-334.
- Galindo-Tovar ME, Ogata-Aguilar N, Arzate-Fernández AM (2008) Some aspects of avocado (*Persea americana* Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica. *Genet. Resour. Crop Evol.* 55: 441-450.
- Galindo-Tovar ME, Milagro-Pérez PA, Alejandre-Rosas JA, Leyva-Ovalle OR, Landero-Torres I, Lee-Espinosa H, Murguía-González J (2011) Relaciones genéticas del aguacate (*Persea americana* Mill.) en siete municipios del centro de Veracruz, caracterizadas con microsatélites. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 13: 339-346.
- Gama CL, Gómez PA (1992) An ethnoecological approach for the study of *Persea*: A case study in the Maya area. *Proc. 2nd World Avocado Congr.* pp. 11-17.
- Gutiérrez-Díez A, Martínez-de la Cerda J, García-Zambrano EA, Iracheta-Donjuan L, Ocampo-Morales JD, Cerda-Hurtado IM (2009) Estudio de diversidad genética del aguacate nativo en Nuevo León, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 32: 9-18.
- Gutiérrez-Díez A, Sánchez-González EI, Torres-Castillo JA, Cerda-Hurtado IM, Ojeda-Zacarias M del C (2015) *Genetic Diversity of Mexican Avocado in Nuevo Leon, Mexico.* En Caliskan M, Oz GC, Kavakli H, Ozcan B (Eds.) *Molecular Approaches to Genetic Diversity.* InTech. Rijeka, Croatia.
- IPGRI (1995) *Descriptores para Aguacate (Persea spp.)*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Roma, Italia.
- Kholghi M, Bernousi I, Darvishzadeh R, Pirzad A, Maleki HH (2011) Collection, evaluation and classification of Iranian confectionary sunflower (*Helianthus annuus* L.) populations using multivariate statistical techniques. *Afr. J. Biotechnol.* 10: 5444-5451.
- López-Guzmán G, Medina-Torres R, Guillén-Andrade H, Ramírez-Guerrero LG, Juárez-López P, Ruelas-Hernández PG (2015) Caracterización morfológica en genotipos nativos de aguacate (*Persea americana* Mill.) de clima tropical en Nayarit, México. *Rev. Mex. Cs. Agríc. Pub. Esp. N° 11:* 2157-2163.
- Mondragon JC, Fernández MMR, Nuñez CC, de la Torre VJD, Montes HS (2011) *Catálogo de Variedades y Selecciones de Frutales (2012-2013).* Folleto para Productores N° 3. Unidad de Propagación Frutícola. INIFAP-CIRCE Campo Experimental Bajío. México. 31 pp.
- Nooryazdan H, Serievs H, Bacilieri R, David J, Berville A (2010) Structure of wild annual sunflower (*Helianthus annuus* L.) accessions based on agro-morphological traits. *Genet. Resour. Crop Evol.* 57: 27-39.
- Rhodes AM, Malo SE, Campbell CW, Carmer SG (1971) A numerical taxonomic study of the avocado (*Persea americana* Mill.). *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 96: 391-395.
- SAS (2012) *Statistical Analysis System, User's guide.* Ver. 8. 6^a ed. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU.
- SIAP (2015) *Producción Agropecuaria.* Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Gadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/ (Cons. 07/ 2015).
- Smith CEJ (1966) Archeological evidence for selection in avocado. *Econ. Bot.* 20: 169-175.
- Storey WB, Bergh B, Zentmyer GA (1986) The Origin, indigenous range and dissemination of the avocado. *Calif. Avoc. Soc. Yearbook* 70: 127-143.