

## Morphological characterization of seed-donor Creole avocado trees from three areas in Colombia

### Caracterización morfológica de aguacates criollos donadores de semilla de tres zonas en Colombia

Yeison López-Galé<sup>1\*</sup>; Nubia Murcia-Riaño<sup>1</sup>;  
Yajaira Romero-Barrera<sup>2</sup>; Mauricio Fernando Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira. Diagonal a la intersección de la Carrera 36ª, calle 23, Palmira, Valle de Cauca, C. P. 763531, COLOMBIA.

<sup>2</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá. Vía a Mosquera km 14, Bogotá, C. P. 250047, COLOMBIA.

\*Corresponding author: [ylopezg@agrosavia.co](mailto:ylopezg@agrosavia.co), tel. (+57) 310 424 19 24.

#### Abstract

Avocado plant propagation in Colombia is done by grafting commercial materials, such as 'Hass', 'Lorena', 'Choquette', 'Fuerte', 'Reed', and 'Trinidad', among others, onto rootstocks produced from sexual seed from Creole and 'Hass' trees. These seeds can be obtained in local markets or in avocado-producing areas located in contrasting agroecological regions without well-defined selection criteria. This work aimed to characterize the morphological variability of 80 seed-donor avocado (*Persea americana* Mill.) trees for rootstock production in three producing areas of Colombia. Thirty-nine morphological descriptors were evaluated for characterization, including qualitative and quantitative characters of plants, leaves, fruits and seeds. Multiple factorial analysis detected high morphological variability in fruit and seed characteristics in the three avocado-producing zones, while cluster analysis allowed the identification of three fully formed groups, so it was not possible to discriminate groups of trees by area of origin. With the results obtained, it was possible to determine a wide phenotypic divergence in the analyzed seed-donor trees, where 80 % of them presented outstanding physical characteristics of seeds for rootstock production.

**Keywords:** *Persea americana* Mill., West Indian avocado, genetic variability, IPGRI descriptors.

#### Resumen

La propagación de plantas de aguacate en Colombia se realiza mediante el injerto de materiales comerciales, como 'Hass', 'Lorena', 'Choquette', 'Fuerte', 'Reed', 'Trinidad', entre otros, sobre portainjertos producidos a partir de semilla sexual proveniente de árboles criollos y de 'Hass'. Estas semillas se pueden obtener en mercados locales o en zonas productoras ubicadas en regiones agroecológicas contrastantes sin tener criterios de selección bien definidos. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la variabilidad morfológica de 80 árboles de aguacate (*Persea americana* Mill.) donadores de semilla para la producción de portainjertos en tres zonas productoras de Colombia. Para la caracterización se evaluaron 39 descriptores morfológicos, incluyendo caracteres cualitativos y cuantitativos de plantas, hojas, frutos y semillas. Con el análisis factorial múltiple utilizado, se detectó alta variabilidad morfológica en características de frutos y semillas en las tres zonas productoras de aguacate, mientras que el análisis de conglomerados permitió identificar tres grupos plenamente conformados, por lo que no fue posible discriminar grupos de árboles por zona de origen. Con los resultados obtenidos, se logró determinar amplia divergencia fenotípica en los árboles donadores de semilla analizados, donde el 80 % de éstos presentaron características físicas de semillas sobresalientes para la producción de portainjertos.

#### Palabras clave:

*Persea americana* Mill., aguacate antillano, variabilidad genética, descriptores IPGRI.



## Introduction

Avocado (*Persea americana* Mill.) is a fruit species of Mesoamerican origin belonging to the family Lauraceae. This species exhibits high adaptive plasticity to different environments as a result of evolutionary and ecological processes (Barrientos-Priego, Muñoz-Pérez, Reyes-Alemán, Borys, & Martínez-Damián, 2007; Galindo-Tovar, Ogata-Aguilar, & Arzate-Fernández, 2008). To date, three subspecies or horticultural races have been recognized: the Mexican race (*P. americana* var. *drymifolia*), Guatemalan race (*P. americana* var. *guatemalensis*) and West Indian race (*P. americana* var. *americana*). Genetic diversity among these races has allowed, through hybridization and anthropic selection processes, the development of modern commercial varieties, which have adapted to specific areas with high yields (Knight & Campbell, 1999).

Avocados are naturally distributed from central Mexico to Peru, and are currently grown in more than 50 countries with tropical and subtropical climates around the world. Mexico is the leading producer (2,029,886 t·year<sup>-1</sup>), while the Dominican Republic is the country with the highest yields per unit area (43.7 t·ha<sup>-1</sup>) (FAOSTAT, 2017). In Colombia, production is estimated at 544,933 t·year<sup>-1</sup> with an average yield of 9.77 t·ha<sup>-1</sup>, giving it the fifth highest production volume worldwide, with the departments of Antioquia, Bolívar, Caldas, Huila, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima and Valle del Cauca contributing more than 80 % of the national production (Agronet, 2019).

Traditionally, the propagation of avocado plants for crops in Colombia is done by grafting commercial materials ('Hass', 'Lorena', 'Choquette', 'Fuerte', 'Reed', and 'Trinidad', among others) onto rootstocks produced from sexual seed (ungrafted) from Creole and 'Hass' trees (Bernal-Estrada & Díaz-Díez, 2020). Seeds are obtained from local markets, which generally do not know the origin of the material, or from producing areas located in contrasting agroecological regions without any clear selection criteria.

Easy-to-observe morphological characteristics with high discriminant action have been used to determine morphological variety in Creole avocado populations in different regions of the world (Acosta-Díaz, Hernández-Torres, & Almeyda-León, 2012; Acosta-Díaz, Hernández-Torres, & Almeyda-León, 2013; Gutiérrez-Díez et al., 2009; López-Guzmán et al., 2012; López-Guzmán et al., 2015; Montes-Hernández, de la Torre-Vizcaíno, Heredia-García, Hernández-Martínez, & Camarena-Hernández, 2017; Sánchez-Pérez, 1999). In Colombia, very little information is available on the diversity of Creole avocados and their effect on productive and phytosanitary behavior when used as rootstocks in commercial crops.

## Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una especie frutal de origen mesoamericano perteneciente a la familia Lauraceae. Esta especie exhibe alta plasticidad adaptativa a diferentes ambientes como resultado de procesos evolutivos y ecológicos (Barrientos-Priego, Muñoz-Pérez, Reyes-Alemán, Borys, & Martínez-Damián, 2007; Galindo-Tovar, Ogata-Aguilar, & Arzate-Fernández, 2008). A la fecha, se reconocen tres subespecies o razas hortícolas: raza mexicana (*P. americana* var. *drymifolia*), raza guatemalteca (*P. americana* var. *guatemalensis*) y raza antillana (*P. americana* var. *americana*). La diversidad genética entre estas razas ha permitido, a través de hibridación y por procesos de selección antrópica, el desarrollo de las variedades comerciales modernas, las cuales se han adaptado a áreas específicas con altos rendimientos productivos (Knight & Campbell, 1999).

De manera natural, el aguacate se distribuye desde la región central de México hasta Perú, y actualmente se cultiva en más de 50 países de clima tropical y subtropical en todo el mundo. México es el principal productor (2,029,886 t·año<sup>-1</sup>), mientras que República Dominicana es el país con los rendimientos más altos por unidad de área (43.7 t·ha<sup>-1</sup>) (FAOSTAT, 2017). En Colombia, se estima una producción de 544,933 t·año<sup>-1</sup> y un rendimiento promedio de 9.77 t·ha<sup>-1</sup>, ubicándolo en el quinto país con mayor volumen de producción a nivel mundial, donde los departamentos de Antioquia, Bolívar, Caldas, Huila, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca contribuyen con más del 80 % de la producción nacional (Agronet, 2019).

Tradicionalmente, la propagación de plantas de aguacate para cultivos en Colombia se realiza mediante el injerto de materiales comerciales ('Hass', 'Lorena', 'Choquette', 'Fuerte', 'Reed', 'Trinidad', entre otros) sobre portainjertos producidos a partir de semilla sexual (pie franco) proveniente de árboles criollos y de 'Hass' (Bernal-Estrada & Díaz-Díez, 2020). Las semillas se obtienen de mercados locales, donde por lo general desconocen la procedencia del material, o de zonas productoras ubicada en regiones agroecológicas contrastantes sin ningún criterio claro de selección.

Características morfológicas de fácil observación y de alta acción discriminante han sido utilizadas para determinar la variedad morfológica en poblaciones de aguacate criollo en diferentes regiones del mundo (Acosta-Díaz, Hernández-Torres, & Almeyda-León, 2012; Acosta-Díaz, Hernández-Torres, & Almeyda-León, 2013; Gutiérrez-Díez et al., 2009; López-Guzmán et al., 2012; López-Guzmán et al., 2015; Montes-Hernández, de la Torre-Vizcaíno, Heredia-García, Hernández-Martínez, & Camarena-Hernández, 2017; Sánchez-Pérez, 1999). En Colombia, es muy escasa la información que se tiene acerca de la diversidad de aguacates criollos y su efecto

In studies by Cañas-Gutierrez, Galindo-López, Arango-Isaza, and Saldamando-Benjumea (2015) and Cañas-Gutiérrez, Arango-Isaza, and Saldamando-Benjumea (2019), the high morphological and molecular variability in seed-donor Creole avocados from different regions of Colombia is evident; in addition, they relate their genetic compatibility with commercial cultivars such as 'Hass', 'Fuerte' and 'Reed', when used as rootstocks. Burbano-Figueroa (2019) mentions some West Indian ecotypes for the Montes de María area (Bolívar and Sucre), identified by local producers according to external and internal characteristics of the fruit, and are known as 'Cebo', 'Leche' and 'Manteco'.

There has been little research on the identification of Creole rootstocks with tolerance or resistance to phytosanitary problems. Among these, the selections made by Rodríguez-Henao, Caicedo-Arana, Enriquez-Valencia, and Muñoz-Florez (2017) in the collection of the National Avocado Germplasm Bank located in the Palmira Research Center of AGROSAVIA (Valle del Cauca) stand out, mainly focused on the identification of materials with resistance to root rot caused by *Phytophthora cinnamomi* Rands.

Determining the morphological variability existing in the different avocado seed producing regions for rootstock production in Colombia would allow identifying selection attributes for the development of propagation and breeding programs, as well as identifying high diversity refuges that contribute to the implementation of conservation plans. In this sense, the objective of this work was to characterize the phenotypic variability of "Creole" avocado trees as seed donors for rootstock production in three areas of Colombia. This was done with the purpose of expanding knowledge to other regions of the country, which lack information, and providing a basis for the selection of seed-producing trees that meet the needs of nursery operators.

## Materials and methods

The work was carried out during the period from March 2015 to November 2016 in three Creole avocado producing areas to obtain rootstocks in Colombia: Norcasia in the department of Caldas (NOR) (05° 36' North latitude and 74° 52' West longitude, at 550 m a. s. l.), Alvarado in the department of Tolima (ALV) (04° 37' North latitude and 075° 01' West longitude, at 1,250 m a. s. l.) and San José del Palmar in the department of Chocó (SJP) (04° 55' North latitude and 76° 12' West longitude, at 920 m a. s. l.).

In each study area, producing trees were selected considering the requirements established by the Colombian Agricultural Institute (ICA, 2009 and 2015), in standards 3180 of 2009 and 3168 of 2015 (modified

sobre el comportamiento productivo y fitosanitario cuando se usan como portainjertos en cultivos comerciales.

En los trabajos de Cañas-Gutierrez, Galindo-López, Arango-Isaza, y Saldamando-Benjumea (2015) y Cañas-Gutiérrez, Arango-Isaza, y Saldamando-Benjumea (2019), queda en evidencia la alta variabilidad morfológica y molecular en aguacates criollos donadores de semilla para diferentes regiones de Colombia; además, relacionan la compatibilidad genética de éstos con cultivares comerciales como 'Hass', 'Fuerte' y 'Reed', al utilizarlos como portainjertos. Burbano-Figueroa (2019) menciona algunos ecotipos antillanos para la zona de los Montes de María (Bolívar y Sucre), identificados por los productores locales de acuerdo con características externas e internas del fruto, y son conocidos como 'Cebo', 'Leche' y 'Manteco'.

En cuanto a la identificación de portainjertos criollos con tolerancia o resistencia a problemas fitosanitarios, las investigaciones son pocas. Entre éstas destacan las selecciones realizadas por Rodríguez-Henao, Caicedo-Arana, Enriquez-Valencia, y Muñoz-Florez (2017) en la colección del Banco Nacional de Germoplasma de Aguacate ubicado en el centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA (Valle del Cauca), enfocadas principalmente en la identificación de materiales con resistencia a la pudrición radical causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands.

Determinar la variabilidad morfológica existente en las diferentes regiones productoras de semilla de aguacate para portainjerto en Colombia permitiría identificar atributos de selección para el desarrollo de programas de propagación y mejoramiento genético, así como identificar refugios de alta diversidad que contribuyan a la implementación de planes de conservación. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la variabilidad fenotípica de árboles de aguacate "criollo" donadores de semilla para la producción de portainjertos en tres zonas de Colombia. Lo anterior con el propósito de ampliar el conocimiento para otras regiones del país, las cuales carecen de información, y brindar bases para la selección de árboles productores de semilla que se ajusten a las necesidades de los viveristas.

## Materiales y métodos

El trabajo se realizó durante el periodo de marzo de 2015 a noviembre de 2016 en tres zonas productoras de aguacate criollo para la obtención de portainjertos en Colombia: Norcasia en el departamento de Caldas (NOR) (05° 36' latitud norte y 74° 52' longitud oeste, a 550 m s. n. m.), Alvarado en el departamento del Tolima (ALV) (04° 37' latitud norte y 075° 01' longitud oeste, a 1,250 m s. n. m.) y San José del Palmar en el departamento de Chocó (SJP) (04° 55' latitud norte y 76° 12' longitud oeste, a 920 m s. n. m.).

by resolution: 0780006 of 2020). These standards describe the guidelines for the selection of seed-donor trees for rootstock production.

Each tree was georeferenced, marked and characterized by evaluating 39 morphological characteristics of plant, leaves, fruits and seeds according to the standardized descriptors published for avocado by the International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 1995) (Table 1).

Trees were selected during the main harvest periods to obtain information on fruits and seeds.

The sample size used per tree was 15 fruits (with a healthy appearance at physiological maturity), 15 seeds and 5 leaves (fully developed and randomly collected). The morphological characterization of the trees was carried out *in situ*, while the characterization of leaves, fruits and seeds was done in the AGROSAVIA phytopathology laboratory. The morphometric variables of length and diameter were measured with a Mitutoyo digital caliper ( $\pm 0.01$  mm), and the weight variables with a Mettler Toledo balance ( $\pm 0.01$  g).

Data matrices were constructed with the data obtained and analyzed with descriptive and multivariate statistics. A mixed data matrix was created that included quantitative and qualitative morphological characteristics, on which a multiple factor analysis (MFA) was applied. This statistical method analyzes data tables, where individuals are described by groups of quantitative and qualitative variables, allowing their simultaneous analysis (Escofier & Pages, 1994; Abdi, Williams, & Valentin, 2013).

The MFA was performed in two stages: 1) principal component analysis (PCA) for quantitative variables and multiple correspondence analysis (MCA) for qualitative variables (ordinal or nominal variables separately), retaining in each procedure the highest eigenvalue, and 2) global PCA with the weights of the original variables obtained in the previous step (Escofier & Pages, 1994). As a result of this analysis, a linear combination of the first component of the PCA and the first dimension of the MCA was obtained, with which the scores for each individual were obtained.

With the scores obtained in the global PCA of the MFA, a cluster analysis was carried out using the squared Euclidean distance and Ward's minimum variance clustering method. The number of groups in the cluster was determined with Hotelling's pseudo  $t^2$  statistic. To determine the correct allocation of seed-donor trees, discriminant analyses were performed for each group. All analyses were conducted with the SAS ver. 9.4 statistical package (SAS Institute Inc., 2013).

En cada zona de estudio, los árboles productores se seleccionaron considerando los requisitos establecidos por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2009 y 2015), en las normas 3180 de 2009 y 3168 de 2015 (modificada por la resolución: 0780006 de 2020). Dichas normas describen los lineamientos para la selección de árboles donadores de semillas para la producción de portainjertos.

Cada árbol se georreferenció, marcó y caracterizó mediante la evaluación de 39 caracteres morfológicos de planta, hojas, frutos y semillas de acuerdo con los descriptores estandarizados publicados para aguacate por el Instituto Internacional para los Recursos Fitogenéticos (IPGRI, 1995) (Cuadro 1). La selección de árboles se hizo durante los periodos de cosecha principal para obtener información de frutos y semillas.

El tamaño de muestra utilizado por árbol fue de 15 frutos (con apariencia sana en madurez fisiológica), 15 semillas y 5 hojas (completamente desarrolladas y colectadas de forma aleatoria). La caracterización morfológica de los árboles se hizo *in situ*, mientras que la caracterización de hojas, frutos y semillas se realizó en el laboratorio de fitopatología de AGROSAVIA. Las variables morfométricas de longitud y diámetro se midieron con un calibrador digital Mitutoyo ( $\pm 0.01$  mm), y las variables de peso, con una balanza Mettler Toledo ( $\pm 0.01$  g).

Con los datos obtenidos se construyeron matrices de datos que se analizaron con estadística descriptiva y multivariada. Se creó una matriz mixta de datos que incluyó características morfológicas cuantitativas y cualitativas, sobre la cual se aplicó un análisis factorial múltiple (AFM). Este método estadístico analiza tablas de datos, donde los individuos están descritos por grupos de variables cuantitativas y cualitativas, lo cual permite el análisis simultáneo de éstas (Escofier & Pages, 1994; Abdi, Williams, & Valentin, 2013).

El AFM se realizó en dos etapas: 1) análisis de componentes principales (ACP) en las variables cuantitativas y análisis de correspondencia múltiple (ACM) en las variables cualitativas (ordinales o nominales por separado), reteniendo en cada procedimiento el mayor valor propio, y 2) ACP global con las ponderaciones de las variables originales obtenidas en el paso anterior (Escofier & Pages, 1994). Como resultado de dicho análisis, se obtuvo una combinación lineal de la primera componente del ACP y la primera dimensión del ACM, con la cual se obtuvieron las puntuaciones para cada individuo.

Con las puntuaciones obtenidas en el ACP global del AFM, se llevó a cabo un análisis de conglomerados empleando la distancia Euclídeana al cuadrado y el



**Table 1. Qualitative and quantitative descriptors used for the morphological characterization of seed-donor Creole avocado trees in three producing areas of Colombia.**

**Cuadro 1. Descriptores cualitativos y cuantitativos utilizados para la caracterización morfológica de aguacates criollos donadores de semilla en tres zonas productoras de Colombia.**

Structure/ Estructura	Characteristic/ Característica	Abbreviation/ Abreviatura
Tree/Árbol	Vigor	TV/VA
	Shape/Forma	TS/FA
	Branch distribution/Distribución de ramas	TBD/DRA
	Height (m)/Altura (m)	TH/AA
	Trunk surface/Superficie del tronco	TTS/STA
	Trunk circumference at 30 cm above ground level (cm)/ Circunferencia del tronco a 30 cm del suelo (cm)	TTC/CTA
Leaf/Hoja	Shape/Forma	LS/FH
	Base shape/Forma de la base	LBS/FBH
	Apex shape/Forma del ápice	LAS/FAH
	Margin/Margen	LM/MH
	Groove on leaf petiole/Pecíolo acanalado de la hoja	GLP/PAH
	Color	LC/CH
	Anise smell/Olor a anís	LAS/OAH
	Length (cm)/Longitud (cm)	LL/LH
	Leaf area (cm <sup>2</sup> )/Área foliar (cm <sup>2</sup> )	LA/AH
Fruit/Fruto	Shape/Forma	FS/FF
	Weight (g)/Peso (g)	FW/PF
	Length (cm)/Longitud (cm)	FL/LF
	Diameter (cm)/Diámetro (cm)	FD/DF
	Apex position/Posición del ápice	FAP/PAF
	Apex shape/Forma del ápice	FAS/FAF
	Pedicel position/Posición del pedicelo	FPP/PPF
	Skin color/Color de la cáscara	FSC/CCF
	Skin surface/Superficie de la cáscara	FSS/SCF
	Skin pliability/Flexibilidad de la cáscara	FSP/FCF
	Adherence of skin to flesh/Adherencia de la cáscara a la pulpa	ASFF/ACPF
	Skin thickness (mm)/Grosor de la cáscara (mm)	FST/GCF
	Skin weight (g)/Peso de la cáscara (g)	FSW/PCF
	Flesh weight (g)/Peso de la pulpa (g)	FFW/PP
	Flesh color/Color de la pulpa	FFC/CPF
	Flesh texture/Textura de la pulpa	FFT/TPF
Seed/Semilla	Shape/Forma	SS/FS
	Weight (g)/Peso (g)	SW/PS
	Length (cm)/Longitud (cm)	SL/LS
	Diameter (cm)/Diámetro (cm)	SD/DS
	Cotyledon surface/Superficie del cotiledón	SCS
	Cotyledon color/Color del cotiledón	SCC/CCS
	Seed position/Posición de la semilla	SP/PSF
	Free space of the seed cavity/Espacio libre en la cavidad	FSSC/ELCS

## Results and discussion

In the three areas evaluated, the avocado production system was characterized by using low production technology, being associated with other plant species of agricultural interest and having relicts of natural forests. Due to these characteristics, they can be considered as harvesting agroforestry production systems, which is consistent with the descriptions made by Burbano-Figueroa (2019) for the avocado-producing region of Montes de María located in the departments of Bolívar and Sucre (Colombia).

A total of 80 seed-donor trees that met the technical requirements established by the ICA (2009 and 2015) were characterized. Of these, 31 trees were selected in the producing area of Norcasia (Caldas), 28 trees in San José del Palmar (Chocó) and 21 trees in Alvarado (Tolima). These trees were characterized by being vigorous with a good phytosanitary appearance (pests and diseases), highly productive with uniform fruit and having had at least three consecutive production periods.

Two periods of fruit production or harvest were identified in the three areas. The first was between the months of March to June, as the main harvest, and the second period was between the months of October to December, with smaller productions known locally as “traviesa” or “mitaca”.

The trees in the production area of Norcasia (Caldas) were characterized by variable size, reaching crown heights of up to 15 m and a maximum trunk circumference of 230 cm (Table 2); in addition, most of them were obovate in shape and had ascendant and irregular growth habits. The fruits had an average weight of  $459.1 \pm 99.9$  g, and the fruit length/width ratio was 1.81, with a predominance of narrowly obovate, pyriform and clavate fruits, with a rounded or flattened apex, and asymmetrical pedicel. The skin surface was intermediate, green to dark green, and the fruit flesh was creamy green.

Seeds in Norcasia had an average weight of 65.4 g, representing 14.2 % of total fruit weight. In this area, seeds were recorded as broadly ovate, cordiform, ellipsoid, with a flattened base and a conical and ovate apex. The cotyledon surface was intermediate rough, and creamy yellow or whitish. The position of the seed in the fruit was at the center or to one side of the fruit, and usually the testa or coat was strongly attached to the seed. The free space of the seed cavity was apical, and to a lesser extent absent.

In San José del Palmar (Chocó), trees with heights greater than 20 m and a trunk circumference of

método de agrupamiento de varianza mínima de Ward. El número de grupos en el clúster se determinó con el pseudo-estadístico  $t^2$  de Hotelling. Para determinar la asignación correcta de árboles donadores de semilla, se efectuaron análisis discriminantes para cada grupo. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS ver. 9.4 (SAS Institute Inc., 2013).

## Resultados y discusión

En las tres zonas evaluadas, el sistema productivo de aguacate se caracterizó por utilizar baja tecnificación en la producción, estar asociado con otras especies vegetales de interés agrícola y por presentar relictos de bosques naturales. Por estas características, se les puede considerar como sistemas productivos agroforestales de recolección, lo cual es consistente con las descripciones realizadas por Burbano-Figueroa (2019) para la región productora de aguacate en los Montes de María ubicada en los departamentos de Bolívar y Sucre (Colombia).

En total se caracterizaron 80 árboles donadores de semillas que cumplieron con los requisitos técnicos establecidos por el ICA (2009 y 2015). De éstos, 31 árboles se seleccionaron en la zona productora de Norcasia (Caldas), 28 árboles en San José del Palmar (Chocó) y 21 árboles en Alvarado (Tolima). Dichos árboles se caracterizaron por ser vigorosos, de buena apariencia fitosanitaria (plagas y enfermedades), altamente productivos, presentar frutos uniformes y por haber tenido por lo menos tres periodos consecutivos de producción.

En las tres zonas se identificaron dos periodos de producción o cosecha de frutos. El primero fue entre los meses de marzo a junio, como cosecha principal, y el segundo periodo fue entre los meses de octubre a diciembre, con producciones menores conocido localmente como “traviesa o mitaca”.

Los árboles de la zona productora de Norcasia (Caldas) se caracterizaron por tener tamaño variable, alcanzar alturas de copa de hasta 15 m y circunferencia de tronco máxima de 230 cm (Cuadro 2); además, en su mayoría eran de forma ovada y de hábitos de crecimiento ascendente e irregular. Los frutos tenían un peso promedio de  $459.1 \pm 99.9$  g, y la relación largo/ancho del fruto fue de 1.81, predominando los frutos de forma obovado-angosta, piriformes y claviformes, de ápice redondeado o aplanado, y pedicelo asimétrico. La superficie de la cáscara era intermedia, de color verde a verde oscuro, y la pulpa del fruto era pastosa color verde crema.

Las semillas en Norcasia tuvieron un peso promedio de 65.4 g, lo cual representa el 14.2 % del peso total del fruto. En esta zona, se registraron semillas de forma ovada-ancha, cordiforme, elipsoides, de base aplanada

**Table 2. Descriptive values of quantitative morphological variables of seed-donor Creole avocado trees in three producing areas in Colombia.****Cuadro 2. Valores descriptivos de variables morfológicas cuantitativas de árboles de aguacate criollo donadores de semilla en tres zonas productoras en Colombia.**

Variable	Norcasia					Alvarado					San José del Palmar				
	Average/ Promedio	SD/DE	Maximum/ Máximo	Minimum/ Mínimo	CV	Average/ Promedio	SD/DE	Maximum/ Máximo	Minimum/ Mínimo	CV	Average/ Promedio	SD/DE	Maximum/ Máximo	Minimum/ Mínimo	CV
TH (m)/ AA (m)	10.4	2.2	15.0	6.4	21.1	11.6	1.6	15.0	8.0	14.0	14.5	3.0	22.0	10.0	21.0
TTC (cm)/ CTA (cm)	121.7	29.9	230.0	62.0	24.6	81.5	18.8	126.0	42.0	23.1	128.9	23.9	182.0	88.0	23.6
FS (g)/ PF (g)	459.1	99.9	832.2	261.3	21.8	427.2	87.4	725.3	256.5	20.5	542.8	127.5	976.9	270.4	23.5
FL (cm)/ LF (cm)	15.6	2.9	29.2	10.5	18.3	16.0	2.6	24.8	9.5	16.0	15.8	2.8	23.1	10.1	17.8
FD (cm)/ DF (cm)	8.6	0.8	11.5	6.2	9.7	8.3	0.7	10.5	6.6	8.0	8.9	0.8	11.2	6.7	8.6
FST (mm)/ GCF (mm)	1.2	0.3	2.8	0.5	23.9	1.0	0.2	1.9	0.5	22.1	1.1	0.3	2.2	0.4	28.0
FSW (g)/ PCF (g)	49.2	15.4	107.6	22.3	31.4	41.8	13.1	95.1	15.0	31.3	47.0	16.0	130.6	25.0	34.1
FPP (g)/ PPF (g)	302.0	84.6	587.2	136.8	28.0	267.3	70.7	486.5	33.5	26.5	364.6	103.7	761.1	34.5	28.4
SW (g)/ PS (g)	65.4	15.8	126.9	29.7	24.2	87.1	21.3	156.3	32.5	24.4	107.3	35.6	220.6	21.1	33.2
SL (cm)/ LS (cm)	5.6	0.7	10.0	3.0	12.0	6.8	1.0	10.2	4.5	14.8	7.3	1.1	10.8	4.7	15.4
SD (cm)/ DS (cm)	4.6	0.5	6.2	3.3	10.1	5.0	0.5	7.2	3.8	10.8	5.3	0.7	9.0	3.0	14.1
LL (cm)/ LH (cm)	21.9	4.2	36.2	13.5	19.2	20.4	3.2	28.8	13.5	15.6	24.2	4.7	36.2	14.4	19.4
LA (cm <sup>2</sup> )/ AH (cm <sup>2</sup> )	178.6	66.5	512.1	75.5	23.2	154.8	41.0	286.4	75.5	21.5	225.3	81.1	512.1	97.9	26.0

SD = standard deviation; CV = coefficient of variation.

DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación.

128.9 cm were recorded. Most of the trees were vigorous, columnar in shape, with axial or irregular branch distribution. The fruits were characterized by being large, with an average weight of 542.8 g and a maximum weight of 976.9 g. The fruit length/width ratio was 1.77, and fruits were pyriform, ellipsoid, narrowly obovate, obovate, clavate or rhomboidal. Fruit apex and pedicel position were frequently asymmetrical. The surface of the fruit skin was intermediate or smooth, which varied from green to light green. The texture of the flesh was generally watery, and ivory or light green in color.

Seeds from the San José del Palmar producing area were large, with an average weight of  $107.3 \pm 35.6$  g, representing 19.7 % of total fruit weight. The most frequent seed shapes were ovate, broadly ovate and

con ápice cónico y ovada. La superficie del cotiledón era rugosa intermedia, color amarillo crema o blanquecino. La posición de la semilla en el fruto estaba al centro o a un lado del fruto, y por lo general la testa o cubierta estaba fuertemente pegada a la semilla. El espacio libre de la cavidad de la semilla era apical, y en menor medida estaba ausente.

En San José del Palmar (Chocó) se registraron árboles con alturas superiores a los 20 m y circunferencia del tronco de 128.9 cm. En su mayoría, eran árboles vigorosos de forma columnar, con hábito de distribución de ramas axial o irregular. Los frutos se caracterizaron por ser grandes, con peso promedio de 542.8 g y peso máximo de 976.9 g. La relación largo/ancho del fruto fue de 1.77, y éstos eran piriformes, elipsoides, obovado-angosto, obovado, claviformes

a flattened base with conical apex. The cotyledon surface was mostly intermediate rough. The location of the seed in the fruit was central, and the free space of the seed cavity was apical.

In the Alvarado (Tolima) producing area, the trees were of variable size, with maximum crown heights of 15 m and an average trunk circumference of 81.5 cm. Most of them had a columnar or pyramidal crown, with an axial branch distribution habit. Fruits were characterized by being of medium size ( $\bar{x}=427.2 \pm 87.4$  g), and the fruit length/width ratio was 1.92. The most frequent fruit shape was pyriform, followed by narrowly obovate, clavate, ellipsoid, and obovate. Fruits had a rounded or asymmetrical apex, and the pedicel position was asymmetrical. The skin surface was intermediate, and light green to yellow. The texture of the flesh was buttery or pastose, with a good taste, and a creamy green to deep yellow color.

The average weight of seeds in Alvarado was  $87.1 \pm 21.3$  g, representing 20.3 % of total fruit weight. In this area, seeds were predominantly broadly ovate, with a flattened base and a conical and ovate apex. They have cotyledons with an intermediate rough surface and detachable testa, centrally positioned and to one side of the fruit; it can be ivory, cream yellow or cream pink. The free space of the seed cavity was apical.

The quantitative morphological characters evaluated showed a wide range of variation in the three producing areas. In 58.3 % of the descriptors considered, coefficients of variation (CV) greater than 20 % were recorded (Table 2). According to Hidalgo (2003), attributes with a higher percentage may indicate high variability. The characteristics with the greatest variation in the three areas were FW, FPP, SW, FSW and FST.

According to the simple correlation analysis presented in Table 3, 16.6 % of the associations between quantitative variables were significant ( $P \leq 0.05$ ). Therefore, coefficients with significant values  $>0.40$  were considered to represent associations with natural patterns of variation (Rojas, 2003). Among the variables with the highest correlation coefficients were: FW with FPP ( $r = 0.93$ ), followed by SW with SD ( $r = 0.91$ ), LA with LL ( $r = 0.88$ ) and SW with SL ( $r = 0.70$ ).

The morphological characteristics observed in the three producing areas are consistent with the descriptions made for fruits and seeds of avocados of the West Indian race (Bernal-Estrada & Díaz-Díez, 2020; Cañas-Gutiérrez et al., 2015; Sánchez-Pérez, 1999), and conform to the size and shape characteristics indicated by López-Guzmán et al. (2012), which are appreciated in the consumer market. FW ranged from 256.5 to 976.9 g, and the most common shapes were pyriform, obovate and clavate. Seed weights ranged from 29.7 to

o romboidales. El ápice del fruto y la posición del pedicelo frecuentemente eran asimétricos. La superficie de la cáscara del fruto era intermedia o lisa, la cual varió de color verde a verde claro. La textura de la pulpa generalmente era acuosa color marfil o verde claro.

Las semillas de la zona productora de San José del Palmar eran grandes, con peso promedio de  $107.3 \pm 35.6$  g y ocupación del 19.7 % del peso total del fruto. Las formas de semilla más frecuentes fueron las ovadas, ovadas anchas y de base aplanada con ápice cónico. La superficie del cotiledón, en su mayoría, fue rugosa intermedia. La ubicación de la semilla en el fruto era central, y el espacio libre de la cavidad en la semilla era apical.

En la zona productora de Alvarado (Tolima), los árboles eran de tamaño variable, con alturas máximas de copa de 15 m y circunferencia del tronco promedio de 81.5 cm. En su mayoría eran de copa columnar o piramidal, con hábito de distribución de ramas axial. Los frutos se caracterizaron por ser de tamaño mediano ( $\bar{x}=427.2 \pm 87.4$  g), y la relación largo/ancho del fruto fue de 1.92. La forma de fruto más frecuente fue el piriforme, seguido de obovado angosto, claviformes, elipsoides y obovado. Los frutos eran de ápice redondeado o asimétrico, y la posición del pedicelo era asimétrica. La superficie de la cáscara era intermedia, de color verde claro a amarilla. La textura de la pulpa fue cremosa o pastosa, de buen sabor, y color verde crema a amarillo intenso.

El peso promedio de semillas en Alvarado fue de  $87.1 \pm 21.3$  g, llegando a ocupar el 20.3 % del peso total del fruto. En esta zona predominaron las semillas de forma ovada-ancha, de base aplanada con ápice cónico y ovada. Poseen cotiledones con superficie rugosa intermedia y testa desprendible, de posición central y a un lado del fruto, ésta puede ser de color marfil, amarillo crema o rosa crema. El espacio libre de la cavidad de la semilla era apical.

Los caracteres morfológicos cuantitativos evaluados presentaron amplio intervalo de variación en las tres zonas productoras. En el 58.3 % de los descriptores considerados, se registraron coeficientes de variación (CV) mayores a 20 % (Cuadro 2). Según Hidalgo (2003), los atributos con un porcentaje mayor pueden indicar alta variabilidad. Las características con mayor variación en las tres zonas fueron el PF, el PPF, el PS, el PCF y el GCF.

De acuerdo con el análisis de correlación simple presentado en el Cuadro 3, el 16.6 % de las asociaciones entre las variables cuantitativas fueron significativas ( $P \leq 0.05$ ). Por ello, se consideró que los coeficientes con valores significativos  $>0.40$  representaban asociaciones con patrones naturales de variación (Rojas, 2003). Entre las variables con mayores coeficientes de correlación se encontraron: el PF con el PPF ( $r = 0.93$ ), seguido del PS



**Table 3. Simple correlation matrix between 13 quantitative variables of 80 Creole avocado trees evaluated in three producing areas in Colombia.**

**Cuadro 3. Matriz de correlación simple entre 13 variables cuantitativas de 80 árboles de aguacate criollo evaluados en tres zonas productoras en Colombia.**

	TH/ AA	TTC/ CT	FW/ PF	FL/ LF	FD/ DF	FST/ GCF	FSW/ PCF	FPP/ PPF	SW/ PS	SL/ LS	SD/ DS	LL/ LH	LA/ AH
TH/AA	1.0000												
TTC/CT	<b>0.5004*</b>	1.0000											
FW/PF	0.3548	0.3010	1.0000										
FL/LF	0.1144	0.1161	<b>0.5655</b>	1.0000									
FD/DF	0.2458	0.1510	<b>0.6834</b>	-0.012	1.0000								
FST/GCF	-0.1282	-0.031	-0.207	-0.1406	-0.0233	1.0000							
FSW/PCF	0.0205	0.1330	<b>0.4571</b>	0.5550	0.2611	0.4002	1.0000						
FFW/PP	0.3281	0.3392	<b>0.9384</b>	<b>0.5465</b>	<b>0.5746</b>	-0.3238	0.3419	1.0000					
SW/PS	0.4594	0.0722	<b>0.3957</b>	0.0410	0.2937	-0.0054	0.0546	0.1777	1.0000				
SL/LS	0.4437	0.0593	<b>0.4900</b>	<b>0.4791</b>	0.1095	-0.1212	0.1277	0.3794	<b>0.7039</b>	1.0000			
SD/DS	0.3790	0.0166	0.2415	-0.2252	0.3666	0.0459	-0.0577	0.0252	<b>0.9114</b>	0.4187	1.0000		
LL/LH	0.2339	0.0590	0.1152	-0.0809	0.0594	-0.1298	-0.0877	0.0926	0.3251	0.2418	0.2708	1.0000	
LA/AH	0.3445	0.0848	0.1149	-0.1539	0.0740	-0.1410	-0.1638	0.1073	0.4249	0.2526	0.3996	<b>0.8889</b>	1.0000

\*Values in bold are statistically significant ( $P \leq 0.05$ ).

\*Valores en negrita son estadísticamente significativos ( $P \leq 0.05$ ).

220.6 g, and the predominant shapes were obovate and those with a flattened base and a conical apex.

SW was variable in the three areas, being higher in San José del Palmar (Chocó) (CV = 33.2 %), followed by Alvarado (Tolima) (CV = 24.4 %) and Norcasia (Caldas) (CV = 24.2 %). SD and the SL were characters of moderate variability, although positively correlated with SW. Seeds from the three study areas can be categorized as large, if compared to that cited by Acosta-Díaz et al. (2012) ( $\bar{x}$ =35.3 g), Acosta-Díaz et al. (2013) ( $\bar{x}$ =36.0 g) and Gutiérrez-Díez et al. (2009) (max. weight = 69.76 g) for Creole avocados from the state of Nuevo León (Mexico), and by Montes-Hernández et al. (2017) in Mexican avocado (*P. americana* var. *drymifolia*) germplasm from the Bajío Experimental Field in the state of Guanajuato, Mexico ( $\bar{x}$ =38.1 g).

The PCA generated in the MFA allowed determining the relationship between the quantitative variables evaluated and the avocado samples from the three producing areas. According to Table 4, and according to the Kaiser-Gutman criterion (Palacio, Apodaca, & Crisci, 2020), the first four components with eigenvalues greater than 1 were able to explain 92.2 % of the total variability. Table 5 shows the greatest contribution of variability explained by each variable that makes up the four principal components, where fruit and seed characteristics have the greatest weight in describing the level of variation in the three populations.

According to the MCA developed in the MFA for the qualitative variables, the first two dimensions were identified as those with the greatest contribution to the

con el DS ( $r = 0.91$ ), el AH con la LH ( $r = 0.88$ ) y el PS con la LS ( $r = 0.70$ ).

Las características morfológicas observadas en las tres zonas productoras concuerdan con las descripciones realizadas para frutos y semillas de aguacates de la raza antillana (Bernal-Estrada & Díaz-Díez, 2020; Cañas-Gutiérrez et al., 2015; Sánchez-Pérez, 1999), y se ajustan a las características de tamaño y forma señaladas por López-Guzmán et al. (2012), las cuales son apreciadas en el mercado de consumo. El PF varió de 256.5 a 976.9 g, y las formas más comunes fueron piriformes, obovado y claviformes. En semillas se documentaron intervalos de peso entre 29.7 y 220.6 g, donde las formas predominantes fueron las obovadas y las de base aplanada con ápice cónico.

El PS fue variable en las tres zonas, siendo mayor en San José del Palmar (Chocó) (CV = 33.2 %), seguido de Alvarado (Tolima) (CV = 24.4 %) y Norcasia (Caldas) (CV = 24.2 %). El DS y la LS fueron caracteres de moderada variabilidad, aunque correlacionados positivamente con el PS. Las semillas de las tres zonas de estudio se pueden categorizar como grandes, si se comparan con lo citado por Acosta-Díaz et al. (2012) ( $\bar{x}$ =35.3 g), Acosta-Díaz et al. (2013) ( $\bar{x}$ =36.0 g) y Gutiérrez-Díez et al. (2009) (peso máx. = 69.76 g) para aguacates criollos del estado de Nuevo León (México), y por Montes-Hernández et al. (2017) en germoplasma de aguacate mexicano (*P. americana* var. *drymifolia*) del Campo Experimental Bajío en el estado de Guanajuato, México ( $\bar{x}$ =38.1 g).

El ACP generado en el AFM permitió determinar la relación entre las variables cuantitativas evaluadas y las

**Table 4. Eigenvalues and proportion of variance explained in the principal component analysis of 80 seed-donor Creole avocado trees in Colombia.**

**Cuadro 4. Valores propios y proporción de la varianza explicada en el análisis de componentes principales de 80 árboles de aguacate criollo donadores de semilla en Colombia.**

Principal component / Componente principal	Eigenvalue / Autovalor	Difference / Diferencia	Absolute proportion / Proporción absoluta	Cumulative proportion / Proporción acumulada
1	3.62856192	1.56235761	0.4032	0.4032
2	2.06620431	0.66351465	0.2296	0.6328
3	1.40268966	0.19727081	0.1559	0.7886
4	1.20541885	0.86349048	0.1339	0.9225

**Table 5. Eigenvectors of the original variables evaluated for the first four principal components of 80 seed-donor Creole avocado trees in Colombia.**

**Cuadro 5. Vectores propios de las variables originales evaluadas de los cuatro primeros componentes principales de 80 árboles de aguacates criollos donadores de semilla en Colombia.**

Variable	PC1 (40.3 %) / CP1 (40.3 %)	PC2 (22.9 %) / CP2 (22.9 %)	PC3 (15.5 %) / CP3 (15.5 %)	PC4 (13.3 %) / CP4 (13.3 %)
TH/AA	0.224401	0.233133	-0.312307	-0.102453
TTC/CTA	0.179247	0.098079	-0.182195	0.401073
FW/PF	<b>0.494885</b>	-0.150025	-0.064279	-0.170517
FL/LF	0.302770	-0.406090	0.024404	<b>0.457855</b>
FD/DF	0.331871	0.051069	0.045659	<b>-0.652333</b>
FST/GCF	-0.087553	0.045309	<b>0.780370</b>	-0.035549
FSW/PCF	0.245279	-0.314061	<b>0.567957</b>	0.027194
FFW/PP	<b>0.432256</b>	-0.262600	-0.208337	-0.188831
SW/PS	0.330509	<b>0.508617</b>	0.075274	0.181772
SL/LS	0.365683	0.184871	-0.053928	<b>0.511808</b>
SD/DS	0.235897	<b>0.589458</b>	0.098269	-0.055720
LL/LH	0.199100	-0.156483	-0.259610	-0.145663
LA/AH	0.223181	-0.409901	-0.232747	-0.078180

\*The values in bold are those with the highest contribution in each component.

\*Los valores en negrita son los de mayor contribución en cada componente.

observed variability (41.04 %). Dimension 1 contributed 24.5 % of the variability, and dimension 2, 16.4 %. The characteristics with the highest polymorphism with respect to the highest inertia values were LS (0.2094), FS (0.1572), SS (0.0810) and SCC (0.0829) (Table 6). The characteristics TS, TBD, TTS, SP, FSSC, FSP, GLP, LAS and LAS had low polymorphism, so they were not included in the MCA.

According to the descriptive and multivariate analyses, the characteristics that presented the greatest

muestras de aguacate de las tres zonas productoras. De acuerdo con el Cuadro 4, y según el criterio de Kaiser-Gutman (Palacio, Apodaca, & Crisci, 2020), los primeros cuatro componentes con valores propios mayores a 1 lograron explicar el 92.2 % de la variabilidad total. Por su parte, el Cuadro 5 señala el mayor aporte de variabilidad explicada por cada variable que conforma los cuatro componentes principales, donde las características de fruto y de semilla son las que tienen mayor peso para describir el nivel de variación en las tres poblaciones.

**Table 6. Partial contributions by each dimension with respect to the inertia value of the qualitative variables evaluated in 80 seed-donor Creole avocado trees in Colombia.**

**Cuadro 6. Contribuciones parciales por cada dimensión con respecto al valor de inercia de las variables cualitativas evaluadas en 80 árboles de aguacate criollo donadores de semilla en Colombia.**

Variable	Dim1 (24.5 %)	Dim2 (16.4 %)	Inertia / Inercia
TV/VA	0.0388	0.0029	0.0486
FS/FF	0.5500	0.0002	<b>0.1572</b>
FAP/PAF	0.0033	0.0048	0.0304
FAS/FAF	0.0008	0.0318	0.0237
FPP/PPF	0.0108	0.0008	0.0223
FSC/CCF	0.0075	0.0714	0.0282
FSP/FCF	0.0002	0.0078	0.0310
ASFF/ACF	0.0107	0.0384	0.0530
FFC/CPF	0.0066	0.0005	0.0677
FSC/SCF	0.0040	0.0018	0.0160
FFT/TPF	0.0009	0.0996	0.0715
SS/FS	0.0024	0.1419	<b>0.0810</b>
SCC/CCS	0.0303	0.1518	<b>0.0829</b>
SCC/SCS	0.0000	0.0210	0.0442
LS/FH	0.8193	0.0162	<b>0.2094</b>
LBS/FBH	0.0138	0.0034	0.0193
LC/CH	0.0004	0.0057	0.0087

\*Values in bold are those with the highest contribution.

\*Los valores en negrita son los de mayor contribución.

morphological variability were those related to fruits and seeds, which confirms that these traits constitute the most important morphological criteria to explain the phenotypic variability in the three avocado populations. López-Guzmán et al. (2012) reported similar results for Creole avocados from the state of Nayarit, and Gutiérrez-Díez et al. (2009) and Acosta-Díaz et al. (2012) for Creole avocados of the Mexican race in the state of Nuevo León (Mexico).

Avocado is a highly heterozygous cross-fertilizing species that produces fruits with monoembryonic seeds, so its progeny can be highly variable (Bernal-Estrada & Díaz-Díez, 2020; Alberti, Brogio, da Silva, Cantuarias-Avilés, & Fassio, 2018). In this sense, it is to be expected that, in the three agroecological regions evaluated, where repopulation processes occur spontaneously with little selection interference by producers, there is high morphological variability, especially in fruit and seed characteristics, which are those with the greatest natural variability (IPGRI, 1995).

Based on the global PCA scores, the cluster analysis obtained in the MFA (Escofier & Pages, 1994) allowed us to identify, at a cut-off height of 0.08 units (semi-partial  $R^2$ ), three groups fully formed from quantitative attributes and similar qualitative ones, which indicates

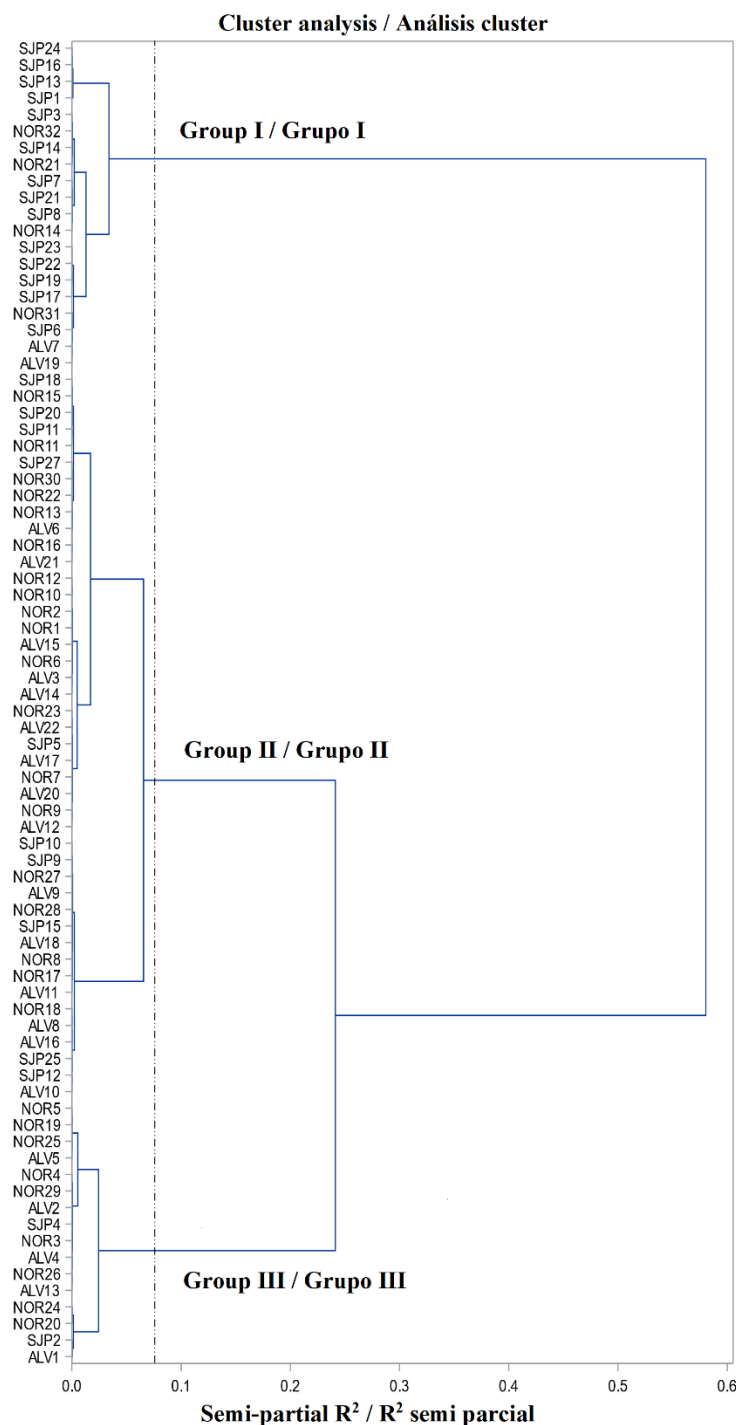
De acuerdo con el ACM desarrollado en el AFM para las variables cualitativas, se identificaron las dos primeras dimensiones como las de mayor contribución a la variabilidad observada (41.04 %). La dimensión 1 aportó el 24.5 % de la variabilidad, y la dimensión 2, el 16.4 %. Las características que mayor polimorfismo presentaron con respecto a los mayores valores de inercia fueron la FH (0.2094), la FF (0.1572), la FS (0.0810) y el CCS (0.0829) (Cuadro 6). Las características FA, DRA, STA, PSF, ELCS, FCF, PAH, OAH y FAH tuvieron bajo polimorfismo, por lo que no fueron incluidos en el ACM.

De acuerdo con los análisis descriptivos y multivariados, las característica que presentaron mayor variabilidad morfológica fueron aquellas relacionadas con frutos y semillas, lo cual permite confirmar que estos rasgos constituyen el criterio morfológico más importante para explicar la variabilidad fenotípica en las tres poblaciones de aguacate. López-Guzmán et al. (2012) reportaron resultados similares para aguacates criollos del estado de Nayarit, y Gutiérrez-Díez et al. (2009) y Acosta-Díaz et al. (2012), para aguacates criollos de la raza mexicana en el estado de Nuevo León (México).

El aguacate es una especie de fecundación cruzada altamente heterocigótica que produce frutos con semillas monoembrionicas, por lo que su progenie

that it was not possible to discriminate groups of trees by areas of origin (Figure 1). According to the discriminant analysis, no reclassification of trees between groups was observed, so it is assumed that the groupings formed are correct.

puede ser muy variable (Bernal-Estrada & Díaz-Díez, 2020; Alberti, Brogio, da Silva, Cantuarias-Avilés, & Fassio, 2018). En este sentido, es de esperar que, en las tres regiones agroecológicas evaluadas, donde los procesos de repoblamiento se dan de forma espontánea



**Figure 1.** Dendrogram of quantitative and qualitative morphological data generated by global principal component analysis of 80 seed-donor Creole avocado trees in Colombia. NOR = Norcasia; ALV = Alvarado; SJP = San José del Palmar.

**Figura 1.** Dendrograma de datos morfológicos cuantitativos y cualitativos generado mediante el análisis de componentes principales global de 80 árboles de aguacate criollo donadores semilla en Colombia. NOR = Norcasia; ALV = Alvarado; SJP = San José del Palmar.



Group I was made up of 20 trees representing 25 % of the population, 14 of which belong to the producing center of San José del Palmar (SJP), four to Norcasia (NOR) and two to Alvarado (ALV). This group was characterized by having trees with higher FW, FPP, FD, SW, SL, SD, LL and LA. In addition, they are trees with elongated fruits (clavate), flesh with a pastose texture (doughy), skin with intermediate adherence to the flesh, ivory-colored seeds and narrowly obovate leaves (Table 7).

Group II consisted of 44 trees (55 % population) with different centers of origin (NOR = 19 trees, ALV = 15 trees and SJP = 10 trees). This group included trees with intermediate quantitative characteristics (leaves, fruits and seeds), where the most determinant qualitative characters were trees with pyriform fruits, seeds with a flattened base and conical apex, and trees with oval leaves. In contrast, group III was made up of the smallest number of trees (16, 20 % population) (NOR = nine trees, ALV = five trees and SJP = two trees) and with the lowest quantitative characteristics, with the FST variable being the character with the highest weight. This group consisted of trees of intermediate vigor, with obovate fruits and oblong-lanceolate leaves.

con escasa injerencia de selección por parte de los productores, exista alta variabilidad morfológica, en especial en características de fruto y semilla, que son los de mayor variabilidad natural (IPGRI, 1995).

Con base en las puntuaciones globales del ACP, el análisis de conglomerados obtenido en el AFM (Escofier & Pages, 1994) permitió identificar, a una altura de corte de 0.08 unidades ( $R^2$  semi parcial), tres grupos plenamente conformados a partir de atributos cuantitativos y cualitativos similares, lo cual indica que no fue posible discriminar grupos de árboles por zonas de origen (Figura 1). De acuerdo con el análisis discriminante implementado, no se observó reclasificación de árboles entre grupos, por lo que se asume que las agrupaciones formadas son correctas.

El grupo I estuvo conformado por 20 árboles que representan el 25 % de la población, donde 14 de ellos pertenecen al centro productor de San José del Palmar (SJP), cuatro a Norcasia (NOR) y dos a Alvarado (ALV). Este grupo se caracterizó por tener árboles con mayor PF, PPF, DF, PS, LS, DS, LH y AH. Además, son árboles con frutos alargados (claviformes), pulpa de textura pastosa (masosa), cáscara con adherencia intermedia

**Table 7. Quantitative and qualitative characteristics determined by group (clusters) for 80 seed-donor Creole avocado trees in Colombia.**

**Cuadro 7. Características cuantitativas y cualitativas determinadas por grupo (conglomerados) para 80 árboles de aguacate criollo donadores de semillas en Colombia.**

Descriptor / Descriptor	Group I / Grupo I	Group II / Grupo II	Group III / Grupo III
Quantitative variables / Variables cuantitativas			
FW (g) / PF (g)	577.3	458.6	404.8
FL (cm) / LF (cm)	17.3	15.3	14.7
FD (cm) / DF (cm)	8.9	8.6	8.1
FST (mm) / GCF (mm)	1.1	1.2	1.6
FSW (g) / PCF (g)	51.2	45.4	42.9
FPP (g) / PPF (g)	383.1	298.6	261.6
SW (g) / PS (g)	108.1	81.1	66.1
SL (cm) / LS (cm)	7.5	6.2	5.7
SD (cm) / DS (cm)	5.2	4.9	4.6
Qualitative variables / Variables cualitativas			
TV / VA	Strong / Fuerte	Strong / Fuerte	Intermediate / Intermedio
FS / FF	Clavate / Claviforme	Pyriform / Piriforme	Obovate / Obovado
ASFF / ACPF	Intermediate / Intermedia	Light / Ligera	Light / Ligera
SS / FS	Broadly ovate / Obvada-ancha	Flattened base with conical apex / Base aplanada con ápice cónico	Broadly ovate / Obvada-ancha
SCC / CCS	Ivory (white 155a) / Marfil (blanco 155a)	Cream (yellow 158B) / Crema (amarillo 158B)	Cream (yellow 158B) / Crema (amarillo 158B)
LS / FH	Narrowly obovate / Obvada-angosta	Oval	Oblong-lanceolate / Oblonga lanceolada

Alberti et al. (2018) and Ramírez-Gill (2016) recommend that the selection of seed-donor trees be carried out based on vigor, productivity, adaptation to local climatic conditions and compatibility with the grafted variety. However, in Colombia, seed size and weight are important attributes for avocado rootstock production. This is due to the fact that nursery operators prefer large seeds for plant multiplication, as they consider that these induce better vigor and generate grafting diameters in less time, as confirmed by studies conducted by Adjei, Banful, and Idun (2011) and Ndoro, Anjichi, Letting, and Were (2018) in other regions of the world.

Seeds obtained from trees in the three evaluated areas, belonging to groups I and II (formed in the cladogram and corresponding to 80 % of the analyzed population), produced large and medium-sized seeds, which meet the physical characteristics required by nursery operators for rootstock production in nurseries in Colombia. However, when selecting seed-donor trees, additional aspects of the seed such as physiological, sanitary and genetic factors should be considered in order to determine their quality, affinity and productivity with commercial markets of interest for Colombia (Reyes-Herrera et al., 2020).

## Conclusions

The high phenotypic divergence in fruits and seeds found in the three avocado populations implies a broad genetic base, in which each agroecological niche can harbor a high variability of shapes and sizes. This explains why it was not possible to identify characteristic variation patterns for each production center.

Eighty percent of the avocado trees identified as seed donors in the three producing areas presented outstanding physical characteristics for the production process of planting material (rootstocks), since in them it is possible to guarantee seeds of good weight and size for nursery activities.

*End of English version*

## References / Referencias

- Abdi, H., Williams, L., & Valentin, D. (2013). Multiple factor analysis: principal component analysis for multitable and multiblock data sets. *Wiley Interdisciplinary reviews: computational statistics*, 5(2), 149-179. doi: 10.1002/wics.1246
- Acosta-Díaz, E., Hernández-Torres, I., & Almeyda-León, I. H. (2012). Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región Sur. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), 245-257. doi: 10.29312/remexca.v3i2.1460

a la pulpa, semillas color marfil y árboles con hojas obovadas angostas (Cuadro 7).

El grupo II estuvo conformado por 44 árboles (55 % población) con diferentes centros de origen (NOR = 19 árboles, ALV = 15 árboles y SJP = 10 árboles). En este grupo se encuentran agrupados árboles con características cuantitativas intermedias (hojas, frutos y semillas), donde los caracteres cualitativos más determinantes fueron árboles con frutos piriformes, semillas de base aplanada con ápice cónico y árboles con hoja oval. En contraste, el grupo III estuvo conformado por el menor número de árboles (16, 20 % población) (NOR = nueve árboles, ALV = cinco árboles y SJP = dos árboles) y con las características cuantitativas más bajas, siendo la variable GCF el carácter de mayor peso. Este grupo estuvo conformado por árboles de vigor intermedio, con frutos obovados y hojas oblongas lanceoladas.

Alberti et al. (2018) y Ramírez-Gill (2016) recomiendan que la selección de árboles donadores de semillas se realice en función del vigor, productividad, adaptación a condiciones climáticas locales y compatibilidad con la variedad injertada. Sin embargo, en Colombia, el tamaño y el peso de las semillas son atributos importantes para la producción de portainjertos de aguacate. Lo anterior debido a que los viveristas prefieren semillas grandes para la multiplicación de plantas, ya que consideran que éstas inducen un mejor vigor y generan diámetros de injertación en menor tiempo, como lo confirman los estudios realizados por Adjei, Banful, y Idun (2011) y Ndoro, Anjichi, Letting, y Were (2018) en otras regiones del mundo.

Las semillas obtenidas de los árboles de las tres zonas evaluadas, que pertenecen a los grupos I y II (formados en el cladograma y que corresponden al 80 % de la población analizada), produjeron semillas grandes y medianas, las cuales cumplen con las características físicas requeridas por los viveristas para la producción de portainjertos en viveros de Colombia. No obstante, a la hora de seleccionar árboles donadores de semilla se deben considerar aspectos adicionales de las semillas como fisiológicos, sanitarios y genéticos, con el fin de determinar su calidad, afinidad y productividad con los mercados comerciales de interés para Colombia (Reyes-Herrera et al., 2020).

## Conclusiones

La alta divergencia fenotípica en frutos y semillas encontrada en las tres poblaciones de aguacate supone una base genética amplia, en la cual cada nicho agroecológico puede anidar alta variabilidad de formas y tamaños. Esto permite explicar porque no fue posible identificar patrones de variación característicos para cada centro productor.

- Acosta-Díaz, E., Hernández-Torres, I., & Almeyda-León, I. H. (2013). Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región norte. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 531-542. doi: 10.29312/remexca.v4i4.1184
- Adjei, P., Banful, B., & Idun, I. (2011). Seed size and seed cut-length effects on germination behavior and seedling growth of avocado (*Persea americana*). *International Journal of Agricultural Research*, 6(3), 299-305. doi: 10.3923/ijar.2011.299.305
- Agronet (2019). *Sistema de Estadísticas Agropecuarias (SEA)*. Colombia: Agronet. Retrieved from <http://www.agronet.gov.co/www/hmt3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx>
- Alberti, M., Brogio, B., da Silva, S., Cantuarias-Avilés, T., & Fassio, C. (2018). Avances en la propagación del aguacate. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, 40(6), 1-18. doi: 10.1590/0100-29452018782
- Barrientos-Priego, A., Muñoz-Pérez, R., Reyes-Alemán, J., Borys, M., & Martínez-Damián, M. (2007). Taxonomía, cultivares y portainjertos. In: Téliz, D., & Mora, A. (Eds.), *El aguacate y su manejo integrado* (pp. 31-62). México, D. F.: Mundi Prensas.
- Bernal-Estrada, J. A., & Díaz-Díez, C. A. (2020). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo del aguacate*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. doi: 10.21930/agrosavia.manual.7403831
- Burbano-Figueroa, O. (2019). West Indian avocado agroforestry systems in Montes de María (Colombia): a conceptual model of the production system. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(2), 75-102. doi: 10.5154/r.rchsh.2018.09.018
- Cañas-Gutiérrez, G., Galindo-López, L., Arango-Isaza, R., & Saldamando-Benjumea, C. (2015). Diversidad genética de cultivares de aguacate (*Persea americana*) en Antioquia, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 129-143. doi: 10.15517/am.v26i1.16936
- Cañas-Gutiérrez, G., Arango-Isaza, R., & Saldamando-Benjumea, C. I. (2019). Microsatellites revealed genetic diversity and population structure in Colombian avocado (*Persea americana* Mill.) germplasm collection and its natural populations. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 11(4), 106-109. doi: 10.5897/jpbcs2018.0792
- Escofier, B., & Pages, J. (1994). Multiple factor analysis (AFMULT package). *Computational statistics & data analysis*, 18(1), 121-140. doi: 10.1016/0167-9473(94)90135-X
- FAOSTAT (2017). *Estadísticas de producción mundial de aguacate del año 2016*. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Galindo-Tovar, M., Ogata-Aguilar, N., & Arzate-Fernández, A. (2008). Some aspects of avocado (*Persea americana* Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica. *Genetic Resources Crop Evolution*, 55, 441-450. doi: 10.1007/s10722-007-9250-5
- Gutiérrez-Díez, A., Martínez-de la Cerda, J., García-Zambrano, E., Iracheta-Donjuan, L., Ocampo-Morales, J., & Cerda-Hurtado, I. (2009). Estudio de diversidad genética del aguacate nativo en Nuevo León, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 32(1), 9-18. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61011105002>
- Hidalgo, R. (2003). Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. In: Franco, T.L., & Hidalgo, R. (Eds.), *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos* (pp. 2-26). Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Retrieved from [http://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/\\_migrated/uploads/tx\\_news/An%C3%A1lisis\\_estad%C3%ADstico\\_de\\_datos\\_de\\_caracterizaci%C3%B3n\\_morfol%C3%B3gica\\_de\\_recursos\\_fitogen%C3%A9ticos\\_894.pdf](http://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/An%C3%A1lisis_estad%C3%ADstico_de_datos_de_caracterizaci%C3%B3n_morfol%C3%B3gica_de_recursos_fitogen%C3%A9ticos_894.pdf)
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2009). *Resolución ICA 3180: Por medio de la cual se establecen los requisitos y procedimientos para la producción y distribución de material de propagación de frutales en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones*. Colombia. Retrieved from <https://www.ica.gov.co/getattachment/Normatividad/Normas-Ica/Resoluciones-Oficinas-Nacionales/2020/2020R78006/2009R3180.pdf.aspx?lang=es-CO>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2015). *Resolución ICA 3168: Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones*. Colombia. Retrieved from <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2015/2015r3168.aspx>
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). (1995). *Descriptores para aguacate (Persea spp.)*. Roma, Italia: International Plant Genetic Resources Institute. Retrieved from <https://www.biodiversityinternational.org/e-library/publications/detail/descriptors-for-avocado-persea-sppaguacate-persea-spp/>
- Knight, R., & Campbell, C. (1999). Ecological adaptation and the evolution of modern avocado cultivars. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 49-54. doi: 10.5154/r.rchsh.1999.04.034
- López-Guzmán, G., Medina-Torres, R., Guillen-Andrade, H., Ramírez-Guerrero, L. G., Aguilar-Castillo, J., & Valdivia, M. G. (2012). Características fenotípicas de hoja y fruto en selecciones de aguacate criollo de clima subtropical en el estado de Nayarit. *Revista Fuente*, 4, 56-62. Retrieved from <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/801>
- López-Guzmán, G., Medina-Torres, R., Guillen-Andrade, H., Ramírez-Guerrero, L., Juárez-López, P., & Ruelas-Hernández, P. (2015). Caracterización morfológica en genotipos nativos de aguacate (*Persea americana* Mill.)

- de clima tropical en Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11, 2157-2167. doi: 10.29312/remexca.v0i11.785
- Montes-Hernández, S., de la Torre-Vizcaíno, J., Heredia-García, E., Hernández-Martínez, M., & Camarena-Hernández, M. (2017). Caracterización morfológica de germoplasma de aguacate mexicano (*Persea americana* var. *drymifolia*, Lauraceae). *Interciencia*, 42(3), 175-180. [https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/08/175-180-5976-MONTES-42\\_3.pdf](https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/08/175-180-5976-MONTES-42_3.pdf)
- Ndoro, L., Anjichi, V., Letting, F., & Were, J. (2018). Effect of seed size on germination and seedling performance on grafted avocado. *African Journal of Education, Science and Technology*, 4(4), 95-100. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/331286694\\_Effect\\_of\\_Seed\\_Size\\_on\\_Germination\\_and\\_Seedling\\_Performance\\_on\\_Grafted\\_Avocado](https://www.researchgate.net/publication/331286694_Effect_of_Seed_Size_on_Germination_and_Seedling_Performance_on_Grafted_Avocado)
- Palacio, F., Apodaca, M., & Crisci, J. (2020). *Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R*. Argentina, Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Retrieved from <https://fundacionazara.org.ar/analisis-multivariado-para-datos-biologicos/>
- Ramírez-Gil, J. (2016). Tratamientos pregerminativos y masa de la semilla como estrategia para mejorar la producción de plantas de aguacate raza guatemalteca. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 115-125. doi: 10.13140/RG.2.2.31149.28648
- Reyes-Herrera, P., Muñoz-Baena, L., Velásquez-Zapata, V., Patiño, L., Delgado-Paz, O., Díaz-Díez, C., Navas-Arboleda, A., & Cortés, A. (2020). Inheritance of rootstock effects in avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. *Frontiers in Plant Science*, 11, 555071. doi: 10.3389/fpls.2020.555071
- Rodríguez-Henao, E., Caicedo-Arana, A., Enriquez-Valencia, A., & Muñoz-Florez, J. E. (2017). Evaluation of tolerance to *Phytophthora cinnamomi* Rands in avocado (*Persea americana* Mill.) germplasm. *Acta Agronómica*, 66(1), 128-134. doi: 10.15446/acag.v66n1.50705
- Rojas, W. (2003). Análisis de la variabilidad genética en quinua. In: Franco, T. L., & Hidalgo, R. (Eds), *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos* (pp. 27-39). Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Retrieved from [http://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/\\_migrated/uploads/tx\\_news/An%C3%A1lisis\\_estad%C3%ADstico\\_de\\_datos\\_de\\_caracterizaci%C3%B3n\\_morfol%C3%B3gica\\_de\\_recursos\\_fitogen%C3%A9ticos\\_894.pdf](http://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/An%C3%A1lisis_estad%C3%ADstico_de_datos_de_caracterizaci%C3%B3n_morfol%C3%B3gica_de_recursos_fitogen%C3%A9ticos_894.pdf)
- Sánchez-Pérez, J. (1999). Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 7-18. doi: 10.5154/rchsh.1999.01.010
- SAS Institute Inc. (2013). *Statistical Analysis System: User's guide*, ver. 9.4. Cary, N. Y., USA: Author. Retrieved from [https://www.sas.com/en\\_us/home.html](https://www.sas.com/en_us/home.html)