

In situ characterization of soursop (*Annona muricata* L.) in the Soconusco region, Chiapas, Mexico

Caracterización *in situ* de guanábana (*Annona muricata* L.) en el Soconusco, Chiapas, México

Juan Manuel Villarreal-Fuentes¹; Irán Alia-Tejaca^{1*}; Marvin Armando Hernández-Salvador¹; Emilio Hernández-Ortiz³; Francisco Javier Marroquín-Agreda¹; Carlos Alberto Núñez-Colín⁴; Eduardo Campos-Rojas⁵

¹Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas. Entronque Carretera Costera y Huehuetán Pueblo, Huehuetán, Chiapas, C. P. 30660, MÉXICO.

²Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad, núm. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C. P. 62209, MÉXICO.

³Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación – Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Programa Moscafrut, Subdirección de Desarrollo de Métodos. Camino a Cacaotales s/n, Metapa de Domínguez, Chiapas, C. P. 30860, MÉXICO.

⁴Universidad de Guanajuato. Mutualismo, núm. 303, Col. La Suiza, Celaya, Guanajuato, C. P. 38060, MÉXICO.

⁵Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Textcoco km 38.5, Chapingo, Edo. de México, C. P. 56230, MÉXICO.

*Corresponding author: iran.alia@uaem.mx, tel. 777 134 54 02.

Abstract

Soursop fruit is highly appreciated for its organoleptic and medicinal characteristics and for its diversity in industrialization; however, there are no varieties generated in Mexico, even though it is believed that there is great diversity of this species in the country. This study aimed to assess the variability among soursop fruits grown in four municipalities of the Soconusco region, Chiapas, based on their physical and chemical characteristics, and to propose some materials for fresh consumption or industry use. Twenty-eight trees propagated from seed and approximately 10 years of age were selected at each commercial orchard. Six fruits at physiological maturity were collected from each tree; then they were ripened and some quality characteristics, functional metabolites and antioxidant activity were evaluated. The population showed high variability (between 42 and 135 %) in fruit, pulp, seed and rachis weight, as well as in the chromaticity in pulp and peel, total soluble solids, total sugars and antioxidant activity. The formation of four groups was determined, where groups 1 and 2 (Tapachula and Huehuetán trees) had the fruits with the best productivity characteristics, namely greater weight and fruit size, while the fruits of groups 3 and 4 (Mazatán and Cacahoatán trees) were characterized by better flavor characteristics, a higher contribution of functional metabolites and greater antioxidant activity. Size, nutraceutical properties, peel chromaticity and brightness, sugars content and fruit acidity are important variables that helped to detect variability in soursop fruits.

Keywords: plant genetic resources, sugars, titratable acidity, phenols, DPPH, ABTS and FRAP.

Resumen

El fruto de la guanábana es muy apreciado por sus características organolépticas, medicinales y por su diversidad en la industrialización; sin embargo, no existen variedades generadas en México, a pesar de que se cree que hay gran diversidad de esta especie en el país. El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad entre frutos de guanábana cultivados en cuatro municipios del Soconusco, Chiapas, a partir de sus características físicas y químicas, y proponer algunos materiales para el consumo en fresco o la industria. Se seleccionaron 28 árboles de huertas comerciales provenientes de semilla con aproximadamente 10 años de edad. De cada árbol se colectaron seis frutos en madurez fisiológica, posteriormente se maduraron y se evaluaron algunas características de calidad, metabolitos funcionales y actividad antioxidante. La población mostró alta variabilidad (entre 42 y 135 %) en el peso de fruto, pulpa, semilla y raquis, así como en la cromaticidad en pulpa y en cáscara, sólidos solubles totales, azúcares totales y actividad antioxidante. Se determinó la formación de cuatro grupos, donde el 1 y 2 (árboles de Tapachula y Huehuetán) tuvieron los frutos con las mejores características de productividad: mayor peso y dimensiones de fruto, mientras que los frutos de los grupos 3 y 4 (árboles de Mazatán y Cacahoatán) se caracterizaron por mejores características de sabor, aporte de metabolitos funcionales y mayor actividad antioxidante. El tamaño, propiedades nutraceuticas, cromaticidad y brillo de cáscara, contenido de azúcares y acidez de fruto son variables importantes que ayudaron a detectar la variabilidad en frutos de guanábana.

Palabras clave: recursos fitogenéticos, azúcares, acidez titulable, fenoles, DPPH, ABTS y FRAP.

Please cite this article as follows (APA 6): Villarreal-Fuentes, J. M., Alia-Tejaca, I., Hernández-Salvador, M. A., Hernández-Ortiz, E., Marroquín-Agreda, F. J., Núñez-Colín, C. A., & Campos-Rojas E. (2020). *In situ* characterization of soursop (*Annona muricata* L.) in the Soconusco region, Chiapas, Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 26(3), 189-205. doi: 10.5154/r.rchsh.2020.05.008



Revista Chapingo
Serie Horticultura

Introduction

The family *Annonaceae* consists of 75 genera, of which *Annona* is the most important, since it has 100 species, of which only seven and one interspecific hybrid are commercially cultivated (Paull & Duarte, 2011). Morton (2013) notes that, within the family *Annonaceae*, the soursop grows in a tropical climate, has larger fruits and is the only one that can be preserved and processed.

Babaji and Abu (2018) indicate that the pulp of soursop fruit is highly appreciated because it has a unique, pleasant, sub-acid and aromatic flavor, with its taste being a mixture of sweetness and mild sourness. In addition, soursop consumption provides potassium, riboflavin and niacin (Ramkhelawan, 2008). Coria-Téllez, Montalvo-González, and Obledo-Vázquez (2018) point out that soursop pulp contains alkaloids and acetogenins that show antihelmintic and anti-cancer activity. Therefore, soursop fruit represents an option as a food, since it can provide benefits to human health, in addition to having great potential for industrialization and development of various food products.

During 2018, 3,693.2 ha of planted soursop were reported in Mexico (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2020), which are distributed along the Pacific (from Sinaloa to Chiapas) and the Gulf of Mexico (from Veracruz to the Yucatan Peninsula) (Paull & Duarte, 2012). The states with the largest commercial area are Nayarit (67 %), Colima (12.5 %) and Michoacán (8 %), which together account for 87.5 % of the national total (SIAP, 2020), although Veracruz, Chiapas, Tabasco, Yucatan and Quintana Roo also report the presence of soursop (Andrés-Agustín & Segura-Ledesma, 2014).

Although soursop has great potential for food, industrial and medicinal use, it remains an underutilized tree due to the lack of commercial varieties, conservation strategies and genetic characterization of the available germplasm (Andi-Brisibe, Ogbonna & Nkachukwu-Chukwurah, 2017). Several authors indicate that most of the plantations established in Mexico are made up of trees propagated by seed, which generates fruits with great variation in shape and size (Evangelista-Lozano, Cruz-Castillo, Pérez-González, Mercado-Silva, & Dávila-Ortiz, 2003; Hernández-Fuentes, Gómez-Jaimes, & Andres-Agustin, 2013). This characteristic suggests that there is a vast genetic resource that can be harnessed, but first research must be conducted on the selection of superior genotypes through characterization, use and conservation (Terán-Erazo et al., 2019). In contrast, Talamantes-Sandoval, Cortés-Cruz, Balois-Morales, López-Guzmán, and Palomino-Hermosillo (2019) suggest

Introducción

La familia *Annonaceae* consta de 75 géneros, de los cuales *Annona* es el más importante, ya que cuenta con 100 especies, de éstas solo siete y un híbrido interespecífico son cultivados de manera comercial (Paull & Duarte, 2011). Morton (2013) menciona que, dentro de las anonáceas, la guanábana es de clima tropical, presenta frutos con tamaño mayor y es la única que se puede preservar y procesar.

Babaji y Abu (2018) indican que la pulpa del fruto de guanábana es muy apreciada porque tiene un sabor único, agradable, subácido y aromático; es una mezcla de dulzura y sabor agrio suave. Además, el consumo de guanábana aporta potasio, riboflavina y niacina (Ramkhelawan, 2008). Coria-Téllez, Montalvo-González, y Obledo-Vázquez (2018) señalan que la pulpa de guanábana contiene alcaloides y acetogeninas que muestran actividad antihelmíntica y anticancerígena. Por ello, la fruta de guanábana representa una opción como alimento, ya que puede aportar beneficios a la salud humana, además de que tiene gran potencial para su industrialización y desarrollo de diversos productos alimenticios.

Durante 2018, en México se reportaron 3,693.2 ha de guanábana plantadas (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2020), las cuales se distribuyen a lo largo del Pacífico (de Sinaloa a Chiapas) y el Golfo de México (de Veracruz a la península de Yucatán) (Paull & Duarte, 2012). Los estados con mayor superficie comercial son Nayarit (67 %), Colima (12.5 %) y Michoacán (8 %), que en conjunto alcanzan 87.5 % del total nacional (SIAP, 2020), aunque Veracruz, Chiapas, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo también reportan la presencia de guanábana (Andrés-Agustín & Segura-Ledesma, 2014).

A pesar de que la guanábana representa un gran potencial para uso alimenticio, industrial y medicinal, permanece como un árbol subutilizado debido a la falta de variedades comerciales, estrategias de conservación y caracterización genética del germoplasma disponible (Andi-Brisibe, Ogbonna & Nkachukwu-Chukwurah, 2017). Diversos autores indican que la mayoría de las plantaciones establecidas en México están constituidas por árboles propagados por semilla, lo cual genera frutos con mucha variación en forma y tamaño (Evangelista-Lozano, Cruz-Castillo, Pérez-González, Mercado-Silva, & Dávila-Ortiz, 2003; Hernández-Fuentes, Gómez-Jaimes, & Andres-Agustin, 2013). Esta característica sugiere que existe un vasto recurso genético que se puede aprovechar, pero antes se deben realizar investigaciones sobre la selección de genotipos superiores a través de la caracterización, uso y conservación (Terán-Erazo et al., 2019). En contraste, Talamantes-Sandoval, Cortés-Cruz, Balois-Morales,

low diversity in populations of different seed-propagated commercial orchards in Nayarit.

In Mexico, studies on soursop fruit quality have been conducted in Morelos, Colima, Veracruz, and Nayarit focused on basic quality characteristics such as size, weight, total soluble solids (TSS), titratable acidity, and color (Evangelista-Lozano et al., 2003; Jiménez-Zurita et al., 2016; Nolasco-González, Hernández-Fuentes, & Montalvo-González, 2019; Ortiz-López, Hernández-Fuentes, Manzanilla-Ramírez, & Molina-Ochoa, 2015; Rosas & Becerra, 2012), and to a lesser extent on soluble sugars, phenols, flavonoids, antioxidant activity and vitamin C (Terán-Erazo et al., 2019).

In general, soursop fruits are considered a valuable food because they offer health benefits due to the presence of natural antioxidant components, which contribute to the prevention of cardiovascular diseases, and other chronic diseases such as cancer, diabetes, Alzheimer's and heart disease (Dar, Mahajan, Lay, & Sharma, 2018).

Escobedo-López, Campos-Rojas, Rodríguez-Núñez, Alia-Tejagal, and Núñez-Colín (2019) indicate that in Mexico the main Annonaceae richness, collection and *ex situ* conservation areas are in the Pacific lowland province, which is where the state of Chiapas is located. In this state, the main uses of soursop are as edible pulp in fresh or frozen form, and for the production of liqueurs and ice creams (Andrés-Agustín & Segura-Ledesma, 2014); additionally, soursop is considered an important option for generating economic income (Pohlan, Borgman, Flores-García, Lerma-Molina, & Pérez-Romero, 1997), since it can reach a price of 80.00 MXN (~3.66 USD) per kilogram of fruit or pulp. However, this fruit tree is only found in backyards or small areas, which does not allow taking advantage of its potential as an alternative crop in some regions suitable for its development.

In Chiapas, no work is being carried out to assess the genetic diversity of soursop, which could be useful in selecting genotypes with desirable traits to generate populations with high genetic variability and productive potential (Barrera-Sánchez et al., 2018). However, it is considered that there is variability in soursop trees with quality fruits that can be used in genetic breeding programs and to generate commercial varieties for the region in the future.

Based on the above, the present research was conducted with the aim of evaluating the variation in soursop fruits cultivated in four municipalities of Soconusco, Chiapas, through some physical and chemical traits, and thus establish an efficient methodology for the selection of outstanding fruit quality materials.

López-Guzmán, y Palomino-Hermosillo (2019) sugieren diversidad baja en poblaciones de diferentes huertas comerciales propagadas por semillas en Nayarit.

En México, se han realizado estudios sobre la calidad de frutos de guanábana en Morelos, Colima, Veracruz y Nayarit enfocados en características básicas de calidad como tamaño, peso, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable y color (Evangelista-Lozano et al., 2003; Jiménez-Zurita et al., 2016; Nolasco-González, Hernández-Fuentes, & Montalvo-González, 2019; Ortiz-López, Hernández-Fuentes, Manzanilla-Ramírez, & Molina-Ochoa, 2015; Rosas & Becerra, 2012), y en menor proporción en azúcares solubles, fenoles, flavonoides, actividad antioxidante y vitamina C (Terán-Erazo et al., 2019).

En general, los frutos de guanábana se consideran un alimento valioso porque ofrecen beneficios a la salud debido a la presencia de componentes antioxidantes naturales, los cuales contribuyen a la prevención de enfermedades cardiovasculares, y otras enfermedades crónicas como cáncer, diabetes, Alzheimer y enfermedades del corazón (Dar, Mahajan, Lay, & Sharma, 2018).

Escobedo-López, Campos-Rojas, Rodríguez-Núñez, Alia-Tejagal, y Núñez-Colín (2019) indican que en México los principales sitios de riqueza, colecta y área de conservación *ex situ* de anonáceas es en la provincia de tierras bajas del Pacífico, que es donde se ubica el estado de Chiapas. En esta entidad, los principales usos de la guanábana son como pulpa comestible en forma fresca o congelada, y para la elaboración de licores y helados (Andrés-Agustín & Segura-Ledesma, 2014); adicionalmente, la guanábana se considera como una opción importante para el ingreso económico (Pohlan, Borgman, Flores-García, Lerma-Molina, & Pérez-Romero, 1997), ya que puede alcanzar un precio de \$80.00 MXN (~\$3.66 USD) el kilogramo de fruta o pulpa. No obstante, este frutal solo se encuentra a nivel de traspatio o en pequeñas superficies, lo que no permite aprovechar su potencial como cultivo alternativo en algunas regiones aptas para su desarrollo.

En Chiapas no se realizan trabajos para evaluar la diversidad genética de guanábana, los cuales podrían ser útiles en la selección de genotipos con características deseables para generar poblaciones con alta variabilidad genética y potencial productivo (Barrera-Sánchez et al., 2018). Sin embargo, se considera que existe variabilidad en los árboles de guanábana con frutos de calidad que pueden ser utilizados en programas de mejoramiento genético y generar en el futuro variedades comerciales para la región.

Con base en lo anterior, la presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar la variación de frutos

Materials and methods

From May 2015 to October 2016, field trips were made to locate soursop orchards – all propagated from seed – in production in the municipalities of Tapachula, Mazatán, Cacahoatán and Huehuetán, Chiapas, Mexico (Table 1). After identifying the orchards, they were monitored to identify the fruiting period. A total of 28 trees were selected for the study – seven from each municipality – based on the outstanding traits shown by the donor producers and on the homogeneity of the age of the trees (approximately 10 years). Six fruits were harvested from each tree at physiological maturity, which was considered as the harvest index used by the producers; that is, the fruit changed from a deep dark green to a yellowish green. The fruits were collected between 7:00 and 10:00 am, and then kept in a ripening chamber at 23 °C and 70 % relative humidity in the Postharvest Laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of Chiapas. Once they reached consumption maturity, some physical and biochemical variables were determined.

The weight of each harvested fruit was determined using a digital balance (Scout ProSp 4001, OHAUS®) with a sensitivity of 0.1 g. Quantification of the weight of the peel, pulp, rachis and seeds was done by sectioning the fruit into each structure. The total number of seeds in each fruit was recorded. The length was evaluated with a tape measure (FH-10M, Truper®), from the base to the apex of the fruit, and the equatorial diameter was measured in the middle of the fruit with a Vernier caliper (CALDI-6MP, Truper®).

The color parameters of the epidermis and pulp, namely brightness (L^*), chromaticity (C^*) and hue (h), were obtained with a manual spectrophotometer (model 3290, X-rite®). Readings were taken on three different parts of each fruit (apex, middle and basal sections). Pulp color evaluation was done by removing a portion of the epidermis from the same area where the color of the epidermis was measured (McGuire, 1992).

de guanábana cultivados en cuatro municipios del Soconusco, Chiapas, a través de algunas características físicas y químicas, y así establecer una metodología eficiente para la selección de materiales sobresalientes en calidad de fruto.

Materiales y métodos

De mayo de 2015 a octubre de 2016 se realizaron recorridos de campo para localizar huertas de guanábana – todas ellas provenientes de semilla – en producción en los municipios de Tapachula, Mazatán, Cacahoatán y Huehuetán, Chiapas, México (Cuadro 1). Después de identificar las huertas, éstas fueron monitoreadas para identificar el periodo de fructificación. Se seleccionaron un total de 28 árboles para el estudio – siete de cada municipio – con base en las características sobresalientes que manifestaban los productores donantes y en la homogeneidad de la edad de los árboles (aproximadamente de 10 años). De cada árbol se cosecharon seis frutos en madurez fisiológica, que fue considerada como el índice de cosecha utilizado por los productores; es decir, que el fruto cambiara de un color verde intenso oscuro a verde amarillento. Los frutos se colectaron entre las 7:00 y 10:00 am, y después se mantuvieron en una cámara de maduración a 23 °C y 70 % de humedad relativa en el Laboratorio de Postcosecha de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chiapas. Una vez alcanzada su madurez de consumo, se determinaron algunas variables físicas y bioquímicas.

El peso se determinó en cada fruto cosechado mediante una balanza digital (Scout ProSp 4001, OHAUS®) con sensibilidad de 0.1 g. La cuantificación del peso de la cáscara, la pulpa, el raquis y las semillas se realizó al seccionar el fruto en cada estructura. En cada fruto se registró el número total de semillas. La longitud se evaluó con una cinta métrica (FH-10M, Truper®), de la base hasta el ápice del fruto, y el diámetro ecuatorial se midió en la parte media del fruto con un vernier (CALDI-6MP, Truper®).

Table 1. Geographical location of the four study municipalities in the Soconusco region, Chiapas, Mexico.

Cuadro 1. Localización geográfica de los cuatro municipios de estudio de la región del Soconusco, Chiapas, México.

Municipality (trees)/ Municipio (árboles)	Mean temperature (°C) / Temperatura media (°C)	Coordinates / Coordenadas	Elevation (m) / Altitud (m)	Climate / Clima
Tapachula (TAPA1-TAPA7)	24	15° 04' 37.30" - 92° 15' 19.93"	726	Warm / Cálido
Mizatán (MAZA1-MAZA7)	28	14° 53' 30.2" - 92° 27' 59.5"	17	Warm humid / Cálido húmedo
Cacahoatán (CACA1-CACA7)	25	14° 59' 28.3" - 92° 09' 37.1"	499	Temperate humid / Templado húmedo
Huehuetán (HUEH1-HUEH7)	27	15° 01' 55.1" - 92° 24' 07.3"	27	Warm humid / Cálido húmedo

Pulp firmness was quantified in the equatorial part of the fruit with a universal texturometer (DFE 050, Chatillon®) with an 8-mm diameter conical strut. For this determination, the epidermis of the fruit was removed before taking the reading. Values were expressed in Newtons (N).

The TSS content was determined in all fruits from two drops of fruit juice extracted with a super extractor (PAL-1, ATAGO®). Quantification was performed using a refractometer (PAL-1, ATAGO®), and results were reported in °Brix.

Titrateable acidity was determined by the method reported by the AOAC (Helrich, 1990). Ten g of pulp were homogenized with 100 mL of distilled water; the mixture was filtered and a 10-mL aliquot was taken for titration with 1 N NaOH, using phenolphthalein as indicator. Results were expressed as a percentage of citric acid. For the quantification of total sugars, the methodology proposed by Whitam, Blades, and Devlin (1971) was used, and the Folin-Ciocalteu technique was used for total phenols (Singleton, Orthofer, & Lamuela-Raventós, 1999). Results were expressed as mg gallic acid equivalents (GAE) per 100 g fresh weight sample ($\text{mg}_{\text{GAE}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Antioxidant activity was determined by three methods: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) and ferric reducing ability of plasma (FRAP). The DPPH method was developed with the methodology proposed by Brand-Williams, Culivier, and Berset (1995). One g of pulp was homogenized with 10 mL of distilled water, then 0.10 mL of the previously filtered mixture were taken and allowed to react with 3 mL of DPPH methanolic solution ($6.1 \times 10^{-5} \text{ M}$, Sigma Aldrich) for 30 min in the dark. The change in absorbance was evaluated at 517 nm. Antioxidant activity was determined from a standard curve with ascorbic acid. Results were expressed as mg ascorbic acid equivalents (AAE) per 100 g sample ($\text{mg}_{\text{AAE}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

For the ABTS method, ABTS reagent (Sigma-Aldrich®) at 7 mM and potassium persulfate ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) at 2.45 mM were mixed. The mixture was left to stand for 16 h and then diluted with 20 % ethanol to an absorbance of 0.7 ± 0.02 at 734 nm. Subsequently, 3 mL of ABTS were added to 50 μL of the aqueous extract (1 g of pulp + 10 mL of distilled water), left to react for 15 min and the absorbance was read at 734 nm. Results were expressed as mg AAE per 100 g fresh weight sample ($\text{mg}_{\text{AAE}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), obtained from a calibration curve (Re et al., 1999).

The antioxidant activity by FRAP was determined with the methodology of Benzie and Strain (1996). The FRAP reagent (2,4,6-Tris[2-pyridyl]s-triazine [TPTZ], FeCl_3

Los parámetros de color de la epidermis y la pulpa: luminosidad (L^*), cromaticidad (C^*) y matiz (h), se obtuvieron con un espectrofotómetro manual (modelo 3290, X-rite®). Las lecturas se realizaron en tres partes diferentes de cada fruto (ápice, parte media y basal). La evaluación del color de la pulpa se realizó al eliminar una porción de la epidermis de la misma área donde se midió el color de la epidermis (McGuire, 1992).

La firmeza de la pulpa se cuantificó en la parte ecuatorial del fruto con un texturómetro universal (DFE 050, Chatillon®) de puntal cónico con diámetro de 8 mm. Para esta determinación se eliminó la epidermis del fruto antes de realizar la lectura. Los valores se expresaron en newtons (N).

El contenido de SST se determinó en todos los frutos a partir de dos gotas de jugo del fruto extraídas con un súper extractor (RE-29401, ATAGO®). La cuantificación se realizó mediante un refractómetro (PAL-1, ATAGO®), y los resultados se reportaron en °Brix.

La acidez titulable se determinó por el método reportado por la AOAC (Helrich, 1990). Se homogenizaron 10 g de pulpa con 100 mL de agua destilada; la mezcla se filtró y se tomó una alícuota de 10 mL para su titulación con NaOH 1 N, usando fenolftaleína como indicador. Los resultados se expresaron en porcentaje de ácido cítrico. En el caso de la cuantificación de azúcares totales se empleó la metodología propuesta por Whitam, Blades, y Devlin (1971), y para los fenoles totales se utilizó la técnica de Folin-Ciocalteu (Singleton, Orthofer, & Lamuela-Raventós, 1999). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de muestra en peso fresco ($\text{mg}_{\text{EAG}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

La actividad antioxidante se determinó por tres métodos: radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS) y poder antioxidante reductor del hierro (FRAP). El método de DPPH se desarrolló con la metodología propuesta por Brand-Williams, Culivier, y Berset (1995). Se homogenizó 1 g de pulpa con 10 mL de agua destilada, después se tomaron 0.10 mL de la mezcla previamente filtrada y se dejaron reaccionar con 3 mL de solución metanólica de DPPH ($6.1 \times 10^{-5} \text{ M}$, Sigma Aldrich) durante 30 min en oscuridad. Se evaluó el cambio de absorbancia a 517 nm. La actividad antioxidante se determinó a partir de una curva estándar con ácido ascórbico. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) por 100 g de muestra ($\text{mg}_{\text{EAA}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Para el método ABTS se mezclaron el reactivo de ABTS (Sigma-Aldrich®) a 7 mM y el persulfato de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) a 2.45 mM. La mezcla se dejó reposar durante

and acetate buffer) was prepared, and 1.8 mL of FRAP were mixed with 140 μL of distilled water and 60 μL of aqueous sample (1 g of pulp + 10 mL of distilled water); the reaction lasted 30 min at 37 °C and at the end of the reaction time the absorbance was evaluated at 593 nm. Results were expressed as mg AAE per 100 g fresh weight sample ($\text{mg}_{\text{AAE}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), obtained from an ascorbic acid calibration curve.

The individual data of the quantitative variables were first studied by descriptive statistics (Castillo, 2011). Then, a cluster analysis using Euclidean distances and Ward's minimum variance method (Ward, 1963) was applied to the matrix of the average values of each tree, where the number of groups was estimated with Hotelling's t^2 pseudostatistic (Hotelling, 1951), which was also established in the relativization of the Euclidean distance in semi-partial R^2 to generalize with comparative studies (Johnson, 1998; Núñez-Colín, & Escobedo-López, 2011). According to Núñez-Colín and Escobedo-López (2014), for the groups resulting from the cluster analysis, a canonical discriminant analysis was performed as an ordination method, where collinearity was ruled out by using a full range matrix, and total canonical structure was used to report the discriminant variables, which standardizes the data to standard normal distribution by means of their values (Johnson, 1998; Núñez-Colín & Escobedo-López, 2014). To select the variables of each canonical root, a t -test was used considering only those with the smallest P values for each root. All these tests were calculated with SAS ver. 8.0 software (SAS Institute, 1999).

Results and discussion

Descriptive statistics

The average weight of the soursop fruits evaluated was 0.98 kg, with high variation among the accessions evaluated (64.9 %) (Table 2). The TAPA3 tree from Tapachula had the fruit with the highest average weight, with 3.2 kg. In Veracruz, Rosas and Becerra (2012) determined the average fruit weight in 12 soursop selections, which ranged from 0.8 to 1 kg. Likewise, in four soursop accessions evaluated in Colima, an average fruit weight of between 0.71 and 0.88 kg was reported (Ortiz-López et al., 2015). In Nayarit, Jiménez-Zurita et al. (2016) and Terán-Eraza et al. (2019) obtained an average weight of between 1.52 and 0.97 kg when evaluating 13 and 52 trees *in situ*, respectively. Hernández, Nolasco, and Cruz (2017) report an average fruit weight of between 0.72 and 1.93 kg in five selections from Nayarit. Pinto and Andrade (2005) indicate that soursop fruits between 0.8 and 2.5 kg are for fresh consumption, whereas those over 2.5 kg are for industry use. Based on the above, Mexico can be seen to have potential for soursop production for fresh consumption.

16 h y se diluyó con etanol al 20 % hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Posteriormente, se agregaron 3 mL de ABTS a 50 μL del extracto acuoso (1 g de pulpa + 10 mL de agua destilada), se dejó reaccionar durante 15 min y se leyó la absorbancia a 734 nm. Los resultados se expresaron en mg EAA por 100 g de muestra en peso fresco ($\text{mg}_{\text{EAA}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), obtenidos a partir de una curva de calibración (Re et al., 1999).

La actividad antioxidante por FRAP se determinó con la metodología de Benzie y Strain (1996). Se preparó el reactivo FRAP (2,4,6-tris[2-piridil]s-triazina [TPTZ], FeCl_3 y tampón acetato), y se mezclaron 1.8 mL de FRAP con 140 μL de agua destilada y 60 μL de muestra acuosa (1 g de pulpa + 10 mL de agua destilada), la reacción duró 30 min a 37 °C y al finalizar el tiempo de reacción se evaluó la absorbancia a 593 nm. Los resultados se expresaron en mg EAA por 100 g de muestra en peso fresco ($\text{mg}_{\text{EAA}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), obtenidos a partir de una curva de calibración de ácido ascórbico.

Los datos individuales de las variables cuantitativas se estudiaron primero por estadística descriptiva (Castillo, 2011). Después, a la matriz de los valores promedio de cada árbol se le aplicó un análisis clúster usando distancias euclidianas y el método de varianzas mínimas de Ward (Ward, 1963), donde el número de grupos se estimó con el pseudoestadístico t^2 de Hotelling (Hotelling, 1951), que además se estableció en la relativización de la distancia euclidiana en R^2 semiparciales para generalizar con estudios comparativos (Johnson, 1998; Núñez-Colín, & Escobedo-López, 2011). De acuerdo con Núñez-Colín y Escobedo-López (2014), para los grupos resultantes del análisis de agrupamiento, se realizó un análisis discriminante canónico como método de ordenación, donde la colinealidad se descartó al utilizar una matriz de rango completo, y para reportar las variables discriminantes se utilizó la estructura canónica total, la cual estandariza los datos a la distribución normal estándar mediante sus valores (Johnson, 1998; Núñez-Colín & Escobedo-López, 2014). Para seleccionar las variables de cada raíz canónica, se utilizó una prueba de t considerando sólo aquellas con los valores P más pequeños para cada raíz. Todas estas pruebas se calcularon con el programa SAS ver. 8.0 (SAS Institute, 1999).

Resultados y discusión

Estadística descriptiva

El peso promedio de los frutos de guanábana evaluados fue de 0.98 kg, con alta variación entre las accesiones evaluadas (64.9 %) (Cuadro 2). El árbol TAPA3 de Tapachula mostró el fruto de mayor peso promedio, con 3.2 kg. En Veracruz, Rosas y Becerra (2012) determinaron el peso promedio de fruto en 12 selecciones de guanábana, y varió de 0.8 a 1 kg.

The average weight proportion of the pulp, peel, seeds and rachis was 62, 27, 6 and 5 %, respectively, with high coefficients of variation (CV) (from 23.2 to 135.6 %) (Table 2). Rosas and Becerra (2012) indicated that the proportion of pulp in soursop selections from Veracruz ranged from 70 to 89 %. Similarly, Hernández et al. (2017) found a pulp yield of 68.7 to 76.2 % in five selections from Nayarit. Jiménez-Zurita et al. (2016) and Terán-Erazo et al. (2019) report a range from 71 to 73 % in the same trait in soursop trees evaluated *in situ*. Considering the above, and from the yield of the pulp in the materials from Chiapas evaluated in this work, it is confirmed that they are fruits suitable for fresh consumption.

The average number of seeds was 94, with some fruits without seeds and others with up to 379 seeds, so the CV was 72.6 % (Table 2). In soursop selections from Veracruz, the number of seeds ranged from 40 to 102, in Colima this value was from 45.4 to 58.8 and in Nayarit it was from 40 to 137 (Jiménez-Zurita et al., 2016; Nolasco-González et al., 2019; Ortiz-López et al., 2015; Rosas & Becerra, 2012; Terán-Erazo et al., 2019). The high variation in the number of seeds is attributed to the fact that the soursop's flowers have pollination and fertilization problems, this due to the morphological characteristics of the flower and its pollinators (Franco-Mora, Jasso-Mata, García-Villanueva, & Saucedo-Veloz, 2001). In general, the present study found that the larger the fruit, the greater the number of seeds. In this sense, Nolasco-González et al. (2019) report a high positive association between fruit weight and number of seeds ($r = 0.81^{***}$), confirming the results obtained.

Fruit length ranged from 7.9 to 28.1 cm, while its diameter ranged from 4.3 to 20.9 cm, with a CV between 23.2 and 28.9 % (Table 2). Hidalgo (2003) suggests that variables with a CV of less than 20 % have little variability. In Nayarit, fruit length was reported to range from 14 to 29.9 cm, and diameter from 8 to 18.8 cm, both with low CV (from 12.4 to 18.8 %) (Jiménez-Zurita et al., 2016; Hernández et al., 2017; Terán-Erazo et al., 2019). This suggests that there is greater variability in Chiapas in terms of the dimensions of the fruit that can be used for the improvement of this species.

On average, the color of the pulp showed a trend towards opaque yellow and intermediate brightness ($L^* = 56.2$, $C^* = 27.2$ and $h = 76.5$; Table 2). However, some pulp materials were observed with darkening ($L^* = 4.0$ and $C^* = 0.8$), probably due to their susceptibility to enzymatic oxidation, and others with high purity and brightness ($L^* = 91.2$ and $C^* = 93.6$). Hernández et al. (2017) observed materials from Nayarit with a trend towards opaque yellow, but with high values in brightness ($L^* = 76.7$ to 78.4 , $C^* = 10.8$ to 10.9 and

Asimismo, en cuatro accesiones de guanábana evaluadas en Colima se reportó un peso promedio de fruto de entre 0.71 y 0.88 kg (Ortiz-López et al., 2015). En Nayarit, Jiménez-Zurita et al. (2016) y Terán-Erazo et al. (2019) obtuvieron un peso promedio de entre 1.52 y 0.97 kg al evaluar 13 y 52 árboles *in situ*, respectivamente. Hernández, Nolasco, y Cruz (2017) reportaron un peso promedio de fruto de entre 0.72 y 1.93 kg en cinco selecciones de Nayarit. Pinto y Andrade (2005) indican que los frutos de guanábana entre 0.8 y 2.5 kg son para consumo en fresco, y aquellos de más de 2.5 kg son para la industria. Con base en lo anterior, se observa que en México se tiene potencial de producción de guanábana para consumo en fresco.

La proporción promedio de peso de la pulpa, la cáscara, las semillas y el raquis fue de 62, 27, 6 y 5 %, respectivamente, con coeficientes de variación (CV) altos (de 23.2 hasta 135.6 %) (Cuadro 2). Rosas y Becerra (2012) indicaron que la proporción de pulpa en selecciones de guanábana de Veracruz varió de 70 a 89 %. De manera similar, Hernández et al. (2017) encontraron un rendimiento de pulpa de 68.7 a 76.2 % en cinco selecciones de Nayarit. Jiménez-Zurita et al. (2016) y Terán-Erazo et al. (2019) reportaron una variación de 71 a 73 % en la misma característica en árboles de guanábana evaluados de manera *in situ*. Considerando lo anterior, y a partir del rendimiento de la pulpa en los materiales de Chiapas evaluados en este trabajo, se confirma que son frutos con un enfoque hacia el consumo en fresco.

El número de semillas promedio fue 94, con algunos frutos sin semilla y otros con hasta 379 semillas, por lo que el CV fue de 72.6 % (Cuadro 2). En selecciones de guanábana de Veracruz, el número de semillas varió de 40 a 102, en Colima dicho valor fue de 45.4 a 58.8, y en Nayarit fue de 40 a 137 (Jiménez-Zurita et al., 2016; Nolasco-González et al., 2019; Ortiz-López et al., 2015; Rosas & Becerra, 2012; Terán-Erazo et al., 2019). La alta variación en el número de semilla se atribuye a que la guanábana presenta problemas de polinización y fecundación de sus flores, esto debido a las características de morfología de la flor y de los polinizadores de la misma (Franco-Mora, Jasso-Mata, García-Villanueva, & Saucedo-Veloz, 2001). En general, en el presente trabajo se observó que a mayor tamaño de fruto existe mayor número de semillas. En este sentido, Nolasco-González et al. (2019) reportan una asociación positiva alta entre el peso del fruto y el número de semillas ($r = 0.81^{***}$), lo que confirma los resultados obtenidos.

La variación de la longitud de fruto fue de 7.9 a 28.1 cm, mientras que su diámetro fue de 4.3 a 20.9 cm, con un CV de entre 23.2 y 28.9 % (Cuadro 2). Hidalgo (2003) sugiere que las variables con CV menor de 20 % presentan poca variabilidad. En Nayarit, se reportó que

Table 2. Descriptors of quantitative fruit traits and descriptive statistics of soursop genotypes from Soconusco, Chiapas, Mexico.**Cuadro 2. Descriptores de características cuantitativas del fruto y estadísticas descriptivas de genotipos de guanábana provenientes del Soconusco, Chiapas, México.**

Traits/Caracteres	Simple statistics/Estadísticos simples					
	\bar{X}	S ²	r	Minimum/ Mínimo	Maximum/ Máximo	CV (%)
Fruit weight (g)/Peso de fruto (g)	988.4	642.0	3 152	118 (CACA3)	3 270 (TAPA3)	64.9
Pulp weight (g)/Peso de pulpa (g)	550.7	381.3	1 884	66 (MAZA1)	1 915 (HUEH5)	69.2
Peel weight (g)/Peso de cáscara (g)	247.5	140	786	24 (TAPA2)	810 (TAPA3)	23.2
Seed weight (g)/Peso de semilla (g)	55.3	75.0	878	0.0 (CACA5)	878 (HUEH7)	135.6
Rachis weight (g)/Peso de raquis (g)	47.0	31.0	148	2.0 (CACA3)	150 (MAZA7)	66.0
Number of seeds/ Número de semillas	94.1	68.4	379	0.0 (CACA5)	379 (HUEH6)	72.6
Fruit length (mm)/ Longitud de fruto (mm)	16.8	4.8	20.2	7.9 (CACA3)	28.1 (TAPA3)	28.9
Fruit diameter (mm)/ Diámetro de fruto (mm)	9.7	2.2	16.6	4.3 (CACA3)	20.9 (TAPA5)	23.2
L* pulp/L* pulpa	56.2	15.9	87.2	4.0 (TAPA2)	91.2 (MAZA3)	27.1
C* pulp/C* pulpa	27.2	28.8	92.8	0.8 (CACA6)	93.6 (MAZA2)	106.6
h pulp/h pulpa	76.5	13.1	84.8	5.1 (MAZA2)	89.9 (MAZA5)	17.1
L* peel/L* cáscara	36.8	13.6	86.5	0.7 (MAZA3)	87.2 (MAZA2)	37.0
C* peel/C* cáscara	30.9	25.2	93.5	2.1 (TAPA3)	95.6 (CACA3)	82.7
h peel/h cáscara	74.3	16.8	84.1	5.7 (CACA1)	89.9 (MAZA4)	22.6
Firmness (N)/Firmeza (N)	2.7	2.5	17.7	0.1 (TAPA4)	17.8 (MAZA4)	92.2
Total soluble solids (°Brix)/ Sólidos solubles totales (° Brix)	8.5	3.6	15.8	3.7 (MAZA2)	19.5 (MAZA4)	42.4
Acidity (%) /Acidez (%)	0.55	0.14	0.7	0.2 (CACA5)	1.0 (CACA2)	25.3
Total sugars (g·100 g ⁻¹ fruit weight)/ Azúcares totales (g·100 g ⁻¹ de peso fresco)	7.93	4.95	20.08	2.03 (TAPA2)	22.1 (MAZA7)	62.5
Total phenols (mg _{GAE} ·100 g ⁻¹ fruit weight)/ Fenoles totales (mg _{EAG} ·100 g ⁻¹ de peso fresco)	2.5	0.7	3.4	1.0 (TAPA5)	4.4 (CACA2)	30.7
DPPH (mg _{AAE} ·100 g ⁻¹)/DPPH (mg _{EAA} ·100 g ⁻¹)	45.2	19.2	130.2	6.4 (HUEH5)	136.6 (CACA1)	42.4
ABTS (mg _{AAE} ·100 g ⁻¹)/ABTS (mg _{EAA} ·100 g ⁻¹)	79.6	41.4	226.4	16 (TAPA5)	242.7 (CACA4)	51.9
FRAP (mg _{AAE} ·100 g ⁻¹)/FRAP (mg _{EAA} ·100 g ⁻¹)	62.0	26.1	132.4	25.5 (HUEH1)	157.9 (CACA1)	42.1

\bar{X} = average; S² = standard deviation; r = range of variation; CV = coefficient of variation; GAE = gallic acid equivalent; AAE = ascorbic acid equivalent; DPPH, ABTS and FRAP = antioxidant activity by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) and ferric reducing ability of plasma (FRAP) methods. Fruits that obtained the minimum or maximum value are indicated in parentheses.

\bar{X} = promedio; S² = desviación estándar; r = rango de variación; CV = coeficiente de variación; EAG = equivalente de ácido gálico; EAA = equivalente de ácido ascórbico; DPPH, ABTS y FRAP = actividad antioxidante por los métodos de radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), ácido 2,2'-azino-bis(3 etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS) y poder antioxidante reductor del hierro (FRAP). Entre paréntesis se indican los frutos que obtuvieron el valor mínimo o máximo.

h = 92.4 to 96.5). Espinosa, Ortiz, Tovar, Mata, and Montalvo (2012) report that the color of the soursop pulp in its mature stage is translucent white (h = 90). The chromaticity (C*) and brightness (L*) identified in the Chiapas fruits are traits that could be considered for the selection of quality pulp, this due to its high CV (from 27.1 to 106.6 %; Table 2).

The color of the soursop peel was variable; some fruits were opaque and dark brown (h = 5.7, C* = 2.1 and L* = 0.7), and others were green with a

la longitud de fruto varía de 14 a 29.9 cm, y el diámetro de 8 a 18.8 cm, ambos con CV bajos (de 12.4 a 18.8 %) (Jiménez-Zurita et al., 2016; Hernández et al., 2017; Terán-Eraza et al., 2019). Lo anterior sugiere que en Chiapas existe mayor variabilidad en las dimensiones del fruto que pueden ser aprovechadas para el mejoramiento de esta especie.

En promedio, el color de la pulpa mostró una tendencia hacia amarillo opaco y de brillo intermedio (L* = 56.2, C* = 27.2 y h = 76.5; Cuadro 2). Sin embargo,

trend towards a bright and vivid yellow ($h = 89.9$, $C^* = 95.6$ and $L^* = 87.2$) (Table 2). Hernández et al. (2017) report that in soursop selections from Nayarit the color of the epidermis is a pale yellowish green at harvest time. Jiménez-Zurita et al. (2017) and Terán-Erao et al. (2019) point out that Nayarit soursop fruits at consumption maturity are opaque green with little brightness ($L^* = 28.9$ to 59.2 , $C^* = 7.2$ to 40.25 and $h = 109.9$ to 164.9). The chromaticity in the color of the peel showed high CV (82.7 %); this could be used to define an objective harvest index in soursop, since producers use the color change from a dark green to a yellowish green as an indicator. However, it is necessary to validate it in a follow-up study of the development of the fruit and correlate it with quality parameters in postharvest.

Fruit firmness showed a high CV (92.2 %), with values ranging between 0.1 and 17.8 N (Table 2). Márquez-Cardozo, Cartagena-Valenzuela, and Ciro-Velasquez (2012) indicate that soursop at the ripening stage has a firmness of 4.7 to 7.4 N, while at the over-ripening stage the average values are 3.6 N. The firmness of the evaluated populations was coincident with an over-ripening stage, since the fruits presented an average firmness of 2.7 N (Table 2). Hernández et al. (2017) report that, in different soursop selections from Nayarit, firmness ranged from 4.7 to 13.9 N, confirming the great variation in this trait in the species. It is important for future studies to determine where firmness is associated with color parameters to define an objective harvest index.

TSS were between 3.7 and 19.5 °Brix, with an average of 8.5 °Brix and a CV of 42.4 % (Table 2). Rosas and Becerra (2012) report fruits with 13 and 14 °Brix, while Ortiz-López et al. (2015) obtained values between 14.4 and 16.4 °Brix. Similarly, Jiménez-Zurita et al. (2016) and Terán-Erao et al. (2019) observed values of 7.1 and 20.1 °Brix in this same variable in soursop fruits from Nayarit evaluated *in situ*. Hernández et al. (2017), also in Nayarit selections, obtained TSS between 10.8 and 22.8 °Brix. The results suggest that the great variation in TSS could be used in the selection of materials for further improvement.

The average titratable acidity of the fruits of the evaluated sample fruits was 0.55 %, with minimum and maximum values of 0.2 and 1.0 % (Table 2). Jiménez-Zurita et al. (2016) report values of 0.3 to 1.2 % in this same variable, and Hernández et al. (2017) recorded a variation of 0.4 to 1.21 % in soursop from Nayarit. The above data show that soursop fruits from Soconusco are similar to those reported in the literature; however, the variation within the sample indicates potential for determining the use of the fruits, either for fresh consumption or industrial use.

se observaron algunos materiales de pulpa con oscurecimiento ($L^* = 4.0$ y $C^* = 0.8$), probablemente susceptibles a la oxidación enzimática, y otros con gran pureza y brillo ($L^* = 91.2$ y $C^* = 93.6$). Hernández et al. (2017) observaron materiales de Nayarit con tendencia al amarillo opaco, pero con valores altos en brillo ($L^* = 76.7$ a 78.4 , $C^* = 10.8$ a 10.9 y $h = 92.4$ a 96.5). Espinosa, Ortiz, Tovar, Mata, y Montalvo (2012) mencionan que el color de la pulpa de guanábana en etapa madura es blanco translucido ($h = 90$). La cromaticidad (C^*) y la luminosidad (L^*) identificados en los frutos de Chiapas son características que se podrían considerar para la selección de pulpa de calidad, esto debido a su gran CV (de 27.1 a 106.6 %; Cuadro 2).

El color de la cáscara de la guanábana fue variable; algunos frutos fueron café opaco y oscuro ($h = 5.7$, $C^* = 2.1$ y $L^* = 0.7$), y otros de color verde con tendencia al amarillo vivo y luminoso ($h = 89.9$, $C^* = 95.6$ y $L^* = 87.2$) (Cuadro 2). Hernández et al. (2017) mencionan que en selecciones de guanábana de Nayarit el color de la epidermis es verde amarillento pálido al momento de la cosecha. Jiménez-Zurita et al. (2017) y Terán-Erao et al. (2019) señalan que los frutos de guanábana en madurez de consumo, provenientes de Nayarit, son verde opaco con poca luminosidad ($L^* = 28.9$ a 59.2 , $C^* = 7.2$ a 40.25 y $h = 109.9$ a 164.9). La cromaticidad en el color de la cáscara mostró gran CV (82.7 %), esto podría ser utilizado para definir un índice de cosecha objetivo en guanábana, ya que los productores utilizan el cambio de color de un verde oscuro a un verde amarillento como indicador. No obstante, es necesario validarlo en un estudio de seguimiento del desarrollo del fruto y correlacionarlo con parámetros de calidad en poscosecha.

La firmeza de fruto mostró un CV alto (92.2 %), con valores fluctuantes entre 0.1 y 17.8 N (Cuadro 2). Márquez-Cardozo, Cartagena-Valenzuela, y Ciro-Velasquez (2012) indican que la guanábana en etapa de madurez presenta una firmeza de 4.7 a 7.4 N, mientras que en la etapa de sobremadurez los valores promedio son de 3.6 N. La firmeza de las poblaciones evaluadas fue coincidente con una etapa sobremadura, dado que los frutos presentaron una firmeza promedio de 2.7 N (Cuadro 2). Hernández et al. (2017) reportan que, en diferentes selecciones de guanábana de Nayarit, la firmeza varió de 4.7 a 13.9 N, lo que confirma la gran variación de este carácter en la especie. En estudios futuros es importante realizar evaluaciones donde se asocie la firmeza con los parámetros de color para definir algún índice de cosecha objetivo.

Los SST estuvieron entre 3.7 y 19.5 °Brix, con un promedio de 8.5 °Brix y un CV de 42.4 % (Cuadro 2). Rosas y Becerra (2012) reportan frutos con 13 y 14 °Brix, mientras que Ortiz-López et al. (2015) obtuvieron valores de entre 14.4 y 16.4 °Brix. De manera similar,

Sugars content is important, as it contributes to the texture, taste, color, and nutritional value of the fruits (Yahia, Carrillo-Lopez, & Bello, 2018). In this study, the concentration of total sugars showed high variation (CV = 62.5 %), with values between 2 and 22.1 g·100 g⁻¹, where the maximum was obtained in fruits from a Mazatán tree (MAZA7; Table 2). Terán-Erao et al. (2019) report values of 2.9 to 20.9 g·100 g⁻¹ of total sugars in soursop from Nayarit. This suggests that some Soconusco trees produced fruits with a high concentration of total sugars, so this may be a trait of interest.

Total phenols showed a CV of 30.7 %, with values between 1.0 and 4.4 mg_{GAE}·100 g⁻¹ fresh weight; the maximum value was detected in fruits from Cacahoatán (CACA2; Table 2). Dos Reis-Nunes et al. (2013) report values of 0.32 mg_{GAE}·100 g⁻¹, while Moreno-Hernández, Sáyago-Ayerdi, García-Galindo, Mata-Montes de Oca, and Montalvo-González (2014) obtained 2.55 mg_{GAE}·100 g⁻¹ dry weight. Jiménez-Zurita et al. (2017) found values between 64 and 74.2 mg_{GAE}·100 g⁻¹ during ripening of two soursop ecotypes from Nayarit, and Coria-Téllez et al. (2018) report a content of 9 mg_{GAE}·100 g⁻¹. The soursop fruits evaluated in this study could help contribute these functional metabolites to human consumption.

The average antioxidant activity determined with DPPH, ABTS and FRAP methods was 45.2, 79.6 and 62 mg_{AAE}·100 g⁻¹, with minimum and maximum values of 6.4 to 136.6, 16 to 242.7 and 25.5 to 157.9 mg_{AAE}·100 g⁻¹, and CV of 42.1, 51.9 and 42.1 %, respectively (Table 2). Beserra-Almeida et al. (2011) obtained values of 91.29 and 16.94 mg_{AAE}·100 g⁻¹ fresh weight in the antioxidant activity evaluated by ABTS and DPPH. Correa-Gordillo, Ortiz, Larrahondo, Sánchez-Mejía, and Pachón (2012) report a value of 70.4 mg_{AAE}·100 g⁻¹ fresh weight with the FRAP method in the cultivar 'Elita' in Colombia. In the present work, some Soconusco fruits showed higher values than those reported in the literature, which could be useful in the selection of materials that provide greater antioxidant activity.

Cluster analysis

The cluster analysis grouped the 28 trees into four groups (Figure 1) according to Hotelling's *t*² pseudostatistical test, where the cut-off line was at a value of approximately 0.05 of semi-partial R². The groups were formed as follows: the first by six trees from Tapachula, the second by seven collections from Huehuetán and one from Tapachula, the third by six genotypes from Mazatán and four from Cacahuatán, and the fourth by three materials from Cacahuatán and one from Mazatán (Figure 1). These results suggest that there is a low flow of materials between the

Jiménez-Zurita et al. (2016) y Terán-Erao et al. (2019) observaron valores 7.1 y 20.1 °Brix en esta misma variable en frutos de guanábana originarios de Nayarit evaluados de manera *in situ*. Hernández et al. (2017), también en selecciones de Nayarit, obtuvieron SST de entre 10.8 y 22.8 °Brix. Los resultados sugieren que la gran variación de los SST podría ser empleada en la selección de materiales para su posterior mejoramiento.

La acidez titulable promedio de los frutos de la muestra evaluada fue de 0.55 %, con valores mínimos y máximos de 0.2 y 1.0 % (Cuadro 2). Jiménez-Zurita et al. (2016) reportaron valores de 0.3 a 1.2 % en esta misma variable, y Hernández et al. (2017) registraron una variación de 0.4 a 1.21 % en guanábana proveniente de Nayarit. Los datos anteriores demuestran que los frutos de guanábana del Soconusco son similares a los reportados en la literatura; sin embargo, la variación dentro de la muestra indica un potencial para determinar el uso de los frutos, ya sea para consumo en fresco o industrial.

El contenido de azúcares es importante, ya que contribuyen a la textura, sabor, color y valor nutricional de los frutos (Yahia, Carrillo-Lopez, & Bello, 2018). En este estudio, la concentración de azúcares totales mostró alta variación (CV = 62.5 %), con valores entre 2 y 22.1 g·100 g⁻¹, donde el máximo se obtuvo en frutos de un árbol de Mazatán (MAZA7; Cuadro 2). Terán-Erao et al. (2019) reportaron valores de 2.9 a 20.9 g·100 g⁻¹ de azúcares totales en guanábana de Nayarit. Esto sugiere que algunos árboles del Soconusco produjeron frutos con gran concentración de azúcares totales, por lo que puede ser una característica de interés.

Los fenoles totales mostraron un CV de 30.7 %, con valores entre 1.0 y 4.4 mg_{EAG}·100 g⁻¹ de peso fresco; el valor máximo se detectó en frutos de Cacahoatán (CACA2; Cuadro 2). Dos Reis-Nunes et al. (2013) reportaron valores de 0.32 mg_{EAG}·100 g⁻¹, mientras que Moreno-Hernández, Sáyago-Ayerdi, García-Galindo, Mata-Montes de Oca, y Montalvo-González (2014) obtuvieron 2.55 mg_{EAG}·100 g⁻¹ de peso seco. Jiménez-Zurita et al. (2017) encontraron valores de entre 64 y 74.2 mg_{EAG}·100 g⁻¹ durante la maduración de dos ecotipos de guanábana de Nayarit, y Coria-Téllez et al. (2018) reportan un contenido de 9 mg_{EAG}·100 g⁻¹. Los frutos de guanábana evaluados en este estudio podrían contribuir en el aporte de estos metabolitos funcionales para ser consumidos por el humano.

La actividad antioxidante promedio determinada con los métodos de DPPH, ABTS y FRAP fue de 45.2, 79.6 y 62 mg_{EAA}·100 g⁻¹, con valores mínimos y máximos de 6.4 a 136.6, 16 a 242.7 y 25.5 a 157.9 mg_{EAA}·100 g⁻¹, y CV de 42.1, 51.9 y 42.1 %, respectivamente (Cuadro 2). Beserra-Almeida et al. (2011) obtuvieron valores de 91.29 y 16.94 mg_{EAA}·100 g⁻¹ de peso fresco en la

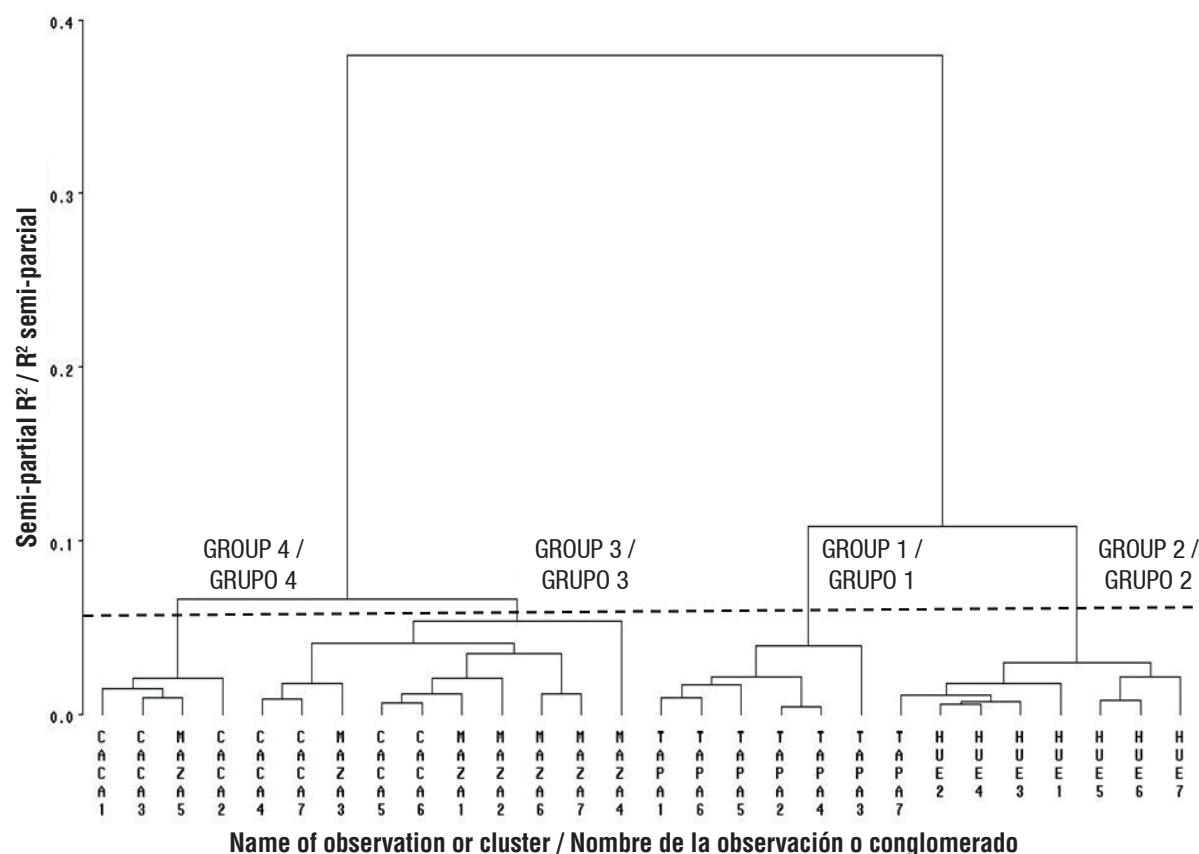


Figure 1. Hierarchical dendrogram of 20 soursop (*Annona muricata* L.) fruit variables generated from Euclidean distances and Ward's method.

Figura 1. Dendrograma jerárquico de 20 variables de fruto de guanábana (*Annona muricata* L.) generado a partir de distancias euclidianas y el método de Ward.

municipalities of Huehuetán and Tapachula, and a higher flow between the municipalities of Mazatán and Cacahuatán. To corroborate the groupings, a resubstitution analysis was performed, which indicated that all individuals undoubtedly belong to the assigned group.

Canonical discriminant analysis

Total variance was expressed by the first three canonical variables, where the first (Can1) explained 94.61 % of the total variance, the second (Can2) 4.27 % and the third (Can3) 1.12 %.

In Can1, fruit, pulp, peel and rachis weight, pulp chromaticity and fruit length were positively correlated, and total phenols and antioxidant activity (DPPH and ABTS) were negatively correlated (Table 3). For Can2, a positive association was observed with fruit diameter and a negative association with peel chromaticity (Table 3). The variables firmness, peel brightness and total sugars content were positively associated with Can3 (Table 3).

actividad antioxidante evaluada por ABTS y DPPH. Correa-Gordillo, Ortiz, Larrahondo, Sánchez-Mejía, y Pachón (2012) reportaron un valor de 70.4 mg_{EAA}·100 g⁻¹ de peso fresco con el método de FRAP en el cultivar 'Elita' en Colombia. En el presente trabajo, algunos frutos del Soconusco muestran valores mayores que los reportados en la literatura, lo que podría ser útil en la selección de materiales que aporten mayor actividad antioxidante.

Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados agrupó los 28 árboles en cuatro grupos (Figura 1) de acuerdo con la prueba pseudoestadística t^2 de Hotelling, donde la línea de corte quedó aproximadamente a un valor de 0.05 de R^2 semiparcial. Los grupos estuvieron conformados de la siguiente manera: el primero por seis árboles de Tapachula, el segundo por siete colectas de Huehuetán y uno de Tapachula, el tercer por seis genotipos de Mazatán y cuatro de Cacahuatán, y el cuarto por tres materiales de Cacahuatán y uno de Mazatán (Figura 1). Estos resultados sugieren que existe un flujo bajo

Table 3. Eigenvectors of 20 fruit variables of the first three canonical variables of 28 soursop genotypes.
Cuadro 3. Vectores propios de 20 variables de fruto de las tres primeras variables canónicas de 28 genotipos de guanábana.

Variable	Can1	Can2	Can3
Fruit weight /Peso de fruto	0.708885	0.464295	-0.259568
Pulp weight /Peso de pulpa	0.737251	0.416958	-0.234229
Peel weight /Peso de cáscara	0.76604	0.346653	-0.293005
Seed weight /Peso de semilla	0.596983	0.100596	-0.007413
Rachis weight /Peso de raquis	0.757735	0.41915	-0.171996
Number of seeds /Número de semillas	0.688398	0.17977	0.112835
Fruit length /Longitud de fruto	0.779101	0.469495	-0.138311
Fruit diameter /Diámetro de fruto	0.626454	0.570166	-0.246172
L* in pulp /L* en pulpa	-0.440447	0.410837	-0.296177
C* in pulp /C* en pulpa	0.744004	-0.52392	0.167808
h in pulp /h en pulpa	0.131205	-0.275811	-0.229948
L* in peel /L* en cáscara	-0.446092	-0.098935	0.353686
C* in peel /C* en cáscara	0.696096	-0.55098	0.20874
h in peel /h en cáscara	0.442075	-0.141698	0.077646
Firmness /Firmeza	-0.025842	-0.287884	0.350205
Total soluble solids /Sólidos solubles totales	-0.68088	-0.359307	-0.004883
Acidity /Acidez	-0.341325	-0.305016	-0.15204
Total sugars /Azúcares totales	-0.220678	-0.220592	0.432411
Total phenols /Fenoles totales	-0.838849	-0.069711	-0.171377
DPPH	-0.751357	-0.104961	-0.225982
ABTS	-0.716337	-0.241659	-0.13296
FRAP	-0.685641	-0.465317	-0.12595

DPPH, ABTS and FRAP = antioxidant activity by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) and ferric reducing ability of plasma (FRAP) methods.

DPPH, ABTS y FRAP = actividad antioxidante por los métodos de radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS) y poder antioxidante reductor del hierro (FRAP).

Evangelista-Lozano et al. (2003) concluded that the first canonical function helped to shape the groups by the number of fruits per tree and the brightness of the fruits, while the second discriminant function was explained by trunk thickness and fruit acidity. According to studies related to the search for variables that allow the detection of outstanding materials and their subsequent genetic improvement, the most important variables are associated with weight, fruit dimensions, nutraceutical properties, peel chromaticity and brightness, sugars content and fruit acidity.

In the present study, group 1 integrated genotypes with higher weight (> 1.5 kg) of both the fruit and their structures (pulp, peel and rachis); they had opaque pulp and longer fruit length, but low phenol content and antioxidant activity (Table 4). Group 2, on average, exceeded 1.2 kg in fruit weight, and the weight of its structures was proportional; the purity of the pulp color was higher, but it showed lower phenol content

de materiales entre los municipios de Huehuetán y Tapachula, y un flujo mayor entre los municipios de Mazatán y Cacahuatán. Para corroborar los agrupamientos, se realizó un análisis de resubstitución, el cual indicó que todos los individuos pertenecen, indudablemente, al grupo asignado.

Análisis discriminante canónico

La varianza total quedó expresada por las tres primeras variables canónicas, donde la primera (Can1) explicó 94.61 % de la varianza total, la segunda (Can2) reportó el 4.27 % y la tercera (Can3) expresó el 1.12 %.

En Can1 se correlacionaron de manera positiva el peso de la fruta, la pulpa, la cáscara y el raquis, la cromaticidad de la pulpa y la longitud del fruto, y en forma negativa los fenoles totales y la actividad antioxidante (DPPH y ABTS) (Cuadro 3). Para Can2 se observó asociación positiva con el diámetro de fruto,

Table 4. Average values of 20 fruit variables in the groups identified by hierarchical cluster analysis of 28 sour sop genotypes.**Cuadro 4. Valores promedio de 20 variables de fruto en los grupos identificados mediante análisis de agrupamiento jerárquico de 28 genotipos de guanábana.**

Variable	Group/Grupo			
	1	2	3	4
Fruit weight (g)/Peso de fruto (g)	1579.97	1243.04	674.88	375.62
Pulp weight (g)/Peso de pulpa (g)	850.66	711.25	376.98	213.91
Peel weight (g)/Peso de cáscara (g)	365.11	321.33	166.51	126.33
Seed weight (g)/Peso de semilla (g)	69.86	83.3125	39.05	18.27
Rachis weight (g)/Peso de raquis (g)	70.77	61.22	33.69	16.52
Number of seeds/Número de semillas	112.72	131.43	78.3	31.20
Fruit length (mm)/Longitud de fruto (mm)	20.625	18.98	14.89	11.66
Fruit diameter (mm)/Diámetro de fruto (mm)	11.65	10.22	8.98	7.87
L* pulp/L* pulpa	62.53	48.25	57.50	59.91
C* pulp/C* pulpa	10.53	63.71	14.35	14.53
h pulp/h pulpa	75.62	79.18	73.50	80.40
L* peel/L* cáscara	31.04	33.00	42.51	39.15
C* peel/C* cáscara	14.31	59.47	20.90	20.62
h peel/h cáscara	73.31	80.04	72.08	70.29
Firmness (N)/Firmeza (N)	1.93	2.93	2.95	2.64
Total soluble solids (°Brix)/ Sólidos solubles totales (°Brix)	6.82	7.16	9.46	11.83
Acidity (%)/Acidez (%)	0.51	0.53	0.55	0.64
Total sugars (g·100 g ⁻¹ fresh weight)/ Azúcares totales (g·100 g ⁻¹ de peso fresco)	48.71	78.20	98.35	79.91
Total phenols (mg _{GAE} ·100g ⁻¹ fresh weight)/ Fenoles totales (mg _{EAG} ·100g ⁻¹ de peso fresco)	2.42	1.91	2.80	3.42
DPPH (mg _{AAE} ·100 g ⁻¹)	42.41	30.90	49.63	67.36
ABTS (mg _{AAE} ·100 g ⁻¹)	65.72	56.69	88.94	123.11
FRAP (mg _{AAE} ·100 g ⁻¹)	46.91	51.40	66.46	94.78

GAE = gallic acid equivalent; AAE = ascorbic acid equivalent; DPPH, ABTS and FRAP = antioxidant activity by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) and ferric reducing ability of plasma (FRAP) methods.

EAG = equivalente de ácido gálico; EAA = equivalente de ácido ascórbico; DPPH, ABTS y FRAP = actividad antioxidante por los métodos de radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS) y poder antioxidante reductor del hierro (FRAP).

and antioxidant activity (Table 4). Groups 3 and 4 are made up of fruits that weighed between 375 and 674 g, with opaque pulp but high phenol content and antioxidant activity (Table 4).

Figure 2 clearly shows the separation of the accessions generated from the canonical variables, where groups 1 and 2 were in the positive part of Can1, while groups 3 and 4 remained in the negative part. This means that the genotypes of groups 1 and 2 had higher fruit, pulp, peel and rachis weight, and longer fruit length, in addition to higher values in pulp chromaticity, but lower total phenol content and antioxidant activity with DPPH and ABTS compared to groups 3 and 4. In Can2, groups 1 and 3 were located

y en forma negativa con la cromaticidad de la cáscara (Cuadro 3). Las variables de firmeza, brillantez de la cáscara y contenido de azúcares totales tuvieron asociación positiva con Can3 (Cuadro 3).

Evangelista-Lozano et al. (2003) concluyeron que la primera función canónica ayudó a conformar los grupos mediante el número de frutos por árbol y la luminosidad de los frutos, mientras que la segunda función discriminante se explicó por el grosor del tronco y la acidez del fruto. De acuerdo con estudios relacionados con la búsqueda de variables que permitan detectar materiales sobresalientes y su posterior mejoramiento genético, las variables más importantes se asocian con el peso, las dimensiones de fruto, las propiedades

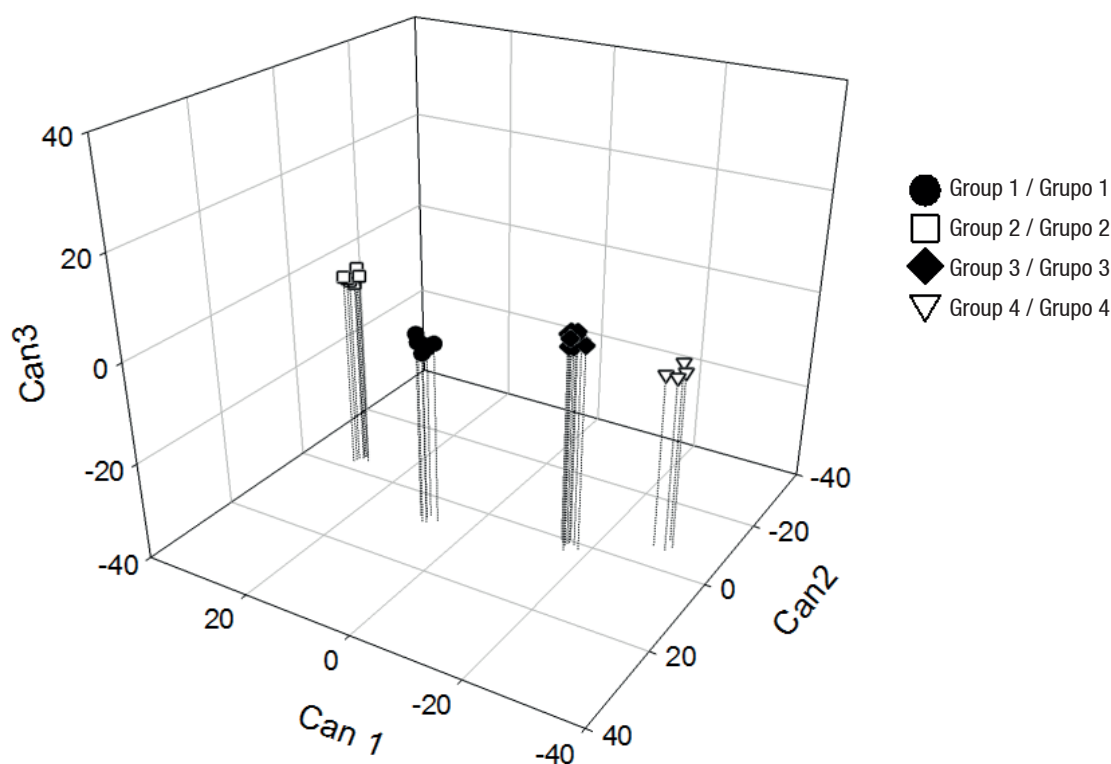


Figure 2. Three-dimensional representation of the grouping of 28 soursop (*Annona muricata* L.) accessions from Chiapas from the canonical discriminant variables.

Figura 2. Representación tridimensional de la agrupación de 28 accesiones de guanábana (*Annona muricata* L.) provenientes de Chiapas a partir de las variables discriminantes canónicas.

on the positive axis, while groups 2 and 4 were in the negative zone. This means that groups 1 and 3 had greater fruit diameter and lower C^* value in peel than the trees of groups 2 and 4. Finally, in Can 3, groups 2 and 3 were located in the positive part of this root, and groups 1 and 4 in the negative part; for this reason, groups 2 and 3 had higher values of peel brightness, fruit firmness and total sugars content than groups 1 and 4.

The results obtained suggest that the trees of groups 1 and 2 are associated with higher productivity due to their greater weight and fruit dimensions. On the other hand, the genotypes of groups 3 and 4 are those that provide higher total phenol content, greater antioxidant activity and better organoleptic traits, with higher total sugars content.

Conclusions

The soursop genotypes evaluated showed high variability in traits of interest to the fresh market (groups 3 and 4) and industry (groups 1 and 2). The most useful variables to distinguish the materials were weight, fruit dimensions, nutraceutical properties, peel chromaticity and brightness, sugars content and

nutraceuticas, la cromaticidad y el brillo de cáscara, el contenido de azúcares y la acidez del fruto.

En el presente estudio, el grupo 1 integró genotipos con mayor peso de fruto (> 1.5 kg) y de sus estructuras (pulpa, cáscara y raquis), los cuales eran de pulpa opaca y mayor longitud de fruto, aunque con bajo contenido de fenoles y actividad antioxidante (Cuadro 4). El grupo 2, en promedio, superó los 1.2 kg de peso de fruto, y el peso de sus estructuras fue proporcional; la pureza del color de pulpa fue mayor, pero mostró menor cantidad de fenoles y actividad antioxidante (Cuadro 4). Los grupos 3 y 4 están conformados por frutos que pesaron entre 375 y 674 g, con pulpa opaca pero alto contenido de fenoles y actividad antioxidante (Cuadro 4).

En la Figura 2 se puede observar claramente la separación de las accesiones generada a partir de las variables canónicas, donde los grupos 1 y 2 estuvieron en la parte positiva del Can1, mientras que los grupos 3 y 4 permanecieron en la parte negativa. Lo anterior significa que los genotipos de los grupos 1 y 2 presentaron mayor peso de fruto, pulpa, cáscara y raquis, y mayor longitud de fruto, además de valores superiores en cromaticidad de pulpa, pero menor

fruit acidity. Hybridization of individuals in groups 1 and 2 with individuals in groups 3 and 4 can be a good genotechnical strategy and have good prospects for the segregation of individuals with better traits within a breeding program.

Acknowledgments

The authors thank the Sectorial Fund for Research in Agricultural, Livestock, Aquaculture, Agrobiotechnology and Plant Genetic Resources for the funding received through project 266891 for the development of this research, and producer Walter Alexander Hintze Werber for providing the soursop fruit samples.

End of English version

References / Referencias

- Andi-Brisibe, E., Ogonna, N. C., & Nkachukwu-Chukwurah, P. (2017). Characterization and selection of exploitable genetic diversity in soursop (*Annona muricata* Linn.) accessions based on phenotypic attributes and RAPD markers. *Agroforestry Systems*, 91(4), 781-793. doi: 10.1007/s10457-016-9965-4
- Andrés-Agustín, J., & Segura-Ledesma, S. D. (2014). Conservación y uso de los recursos genéticos de Annonaceae en México. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 118-124. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v36nspe1/v36nspe1a14.pdf>
- Babaji, S. S., & Abu, M. F. (2018). Soursop. In: Rodrigues, S., Silva, E., & de Brito, E. (Eds.), *Exotic Fruits. Reference Guide* (pp. 391-395). Oxford, UK: Elsevier-Academic Press.
- Barrera-Sánchez, C. F., Lopes, B. E., Teodoro, P. E., del Pilar-García, A., de Azevedo-Peixoto, L., Aparecida-Silva, L., & Lopes-Bhering, L. (2018). Genetic diversity among soursop genotypes based on fruit production. *Bioscience Journal*, 34(1), 122-128. doi: 10.14393/bj-v34n1a2018-37421
- Benzie, I. F., & Strain J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76. doi: 10.1006/abio.1996.0292
- Beserra-Almeida, M. M., Machado-de Sousa, P. H., Campos-Arriaga, A. M., Matias-do Prado, G., de Carvalho-Magalhães, E., Arraes-Maia, G., & Gomes-de Lemos, L. L. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44(7), 2155-2159. doi: 10.1016/j.foodres.2011.03.051
- Brand-Williams, W., Culivier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie. Food Science Technology*, 28(1), 25-30. doi: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5
- Castillo, M. L. (2011). *Introducción al SAS® para Windows*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.

contenido de fenoles totales y actividad antioxidante con DPPH y ABTS comparado con los grupos 3 y 4. En Can2, los grupos 1 y 3 se ubicaron en el eje positivo, mientras que los grupos 2 y 4 estuvieron en la zona negativa. Esto significa que los grupos 1 y 3 presentaron mayor diámetro de fruto y menor valor de C* en cáscara que los árboles de los grupos 2 y 4. Finalmente, en el Can 3, los grupos 2 y 3 se ubicaron en la parte positiva de esta raíz, y los grupos 1 y 4 en la parte negativa; por lo que los grupos 2 y 3 presentaron mayores valores de brillantez de cáscara, mayor firmeza de fruto y mayor contenido de azúcares totales que los grupos 1 y 4.

Los resultados obtenidos sugieren que los árboles de los grupos 1 y 2 se asocian con una mayor productividad por presentar mayor peso y dimensiones de fruto. En cambio, los genotipos de los grupos 3 y 4 son los que aportan mayor contenido de fenoles totales, actividad antioxidante y mejores características organolépticas, con mayor contenido de azúcares totales.

Conclusiones

Los genotipos de guanábana evaluados mostraron alta variabilidad en características de interés para el mercado en fresco (grupos 3 y 4) y la industria (grupos 1 y 2). Las variables con mayor utilidad para distinguir los materiales fueron el peso, las dimensiones de fruto, las propiedades nutraceuticas, la cromaticidad y el brillo de cáscara, el contenido de azúcares y la acidez de fruto. La hibridación de individuos de los grupos 1 y 2 con individuos de los grupos 3 y 4 puede ser una buena estrategia genotécnica y tener buenas perspectivas de segregación de individuos con mejores características dentro de un programa de mejoramiento genético.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos por el financiamiento recibido mediante el proyecto 266891 para el desarrollo de la presente investigación, y al productor Ing. Walter Alexander Hintze Werber por proporcionar las muestras de frutos guanábana.

Fin de la versión en español

- Coria-Téllez, A. V., Montalvo-González, E., & Obledo-Vázquez, E. N. (2018). Soursop (*Annona muricata*). In: Yahia, E. M. (Ed.), *Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry and human health* (pp. 1243-1252). Chichester, UK: Wiley-Blackwell.
- Correa-Gordillo, J., Ortiz, D., Larrahondo, J. E., Sánchez-Mejía, M., & Pachón, H. (2012). Actividad antioxidante en guanábana (*Annona muricata* L.) una revisión bibliográfica. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y*

- Aromáticas*, 11(2), 111-126. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85622734002>
- Dar, A. A., Mahajan, R., Lay, P., & Sharma, S. (2018). Biodiversity of temperate fruits. In: Mir, S. A., Shah, M. A., & Mir, M. M. (Eds.), *Postharvest biology and technology of temperate fruits* (pp. 1-20). Cham, Switzerland: Springer.
- dos Reis-Nunes, C., Ribeiro-Bernardes, N., Batista-Barbosa, J., de Lima-Glória, L., Menezes-de Faria, S., & Barros-de Oliveira, D. (2013). Atividade antioxidante e o teor de taninos e fenóis dos frutos de *Annona muricata* L. *Vertices*, 15(3), 93-110. doi: 10.19180/1809-2667.20130032
- Escobedo-López, D., Campos-Rojas, E., Rodríguez-Núñez, J. R., Alia-Tejacal, I., & Núñez-Colín, C. A. (2019). Priority areas to collect germoplasm of *Annona* (Annonaceae) in Mexico based on diversity and species richness indices. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 66, 401-414. doi: 10.1007/s10722-018-0718-2
- Espinosa, I., Ortiz, R. I., Tovar, B., Mata, M., & Montalvo, E. (2012). Physiological and physicochemical behavior of soursop fruits refrigerated with 1-methylcyclopropene. *Journal of Food Quality*, 36, 10-20. doi: 10.1111/jfq.12011
- Evangelista-Lozano, S., Cruz-Castillo, J. G., Pérez-González, S., Mercado-Silva, E., & Dávila-Ortiz, G. (2003). Producción y calidad frutícola de guanábanos (*Annona muricata* L.) provenientes de semilla de Jiutepec, Morelos, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 9(1), 69-79. doi: 10.5154/r.rchsh.2001.05.027
- Franco-Mora, O., Jasso-Mata, J., García-Villanueva, E., & Saucedo-Veloz, C. (2001). Crecimiento y calidad de frutos de *Annona muricata* L. con diferente intensidad de polinización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 24(2), 139-144. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61024202>
- Helrich, K. (1990). *Official Methods and Analysis*. Arlington, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Hernández-Fuentes, L. M., Gómez-Jaimes, R., & Andres-Agustin, J. (2013). *Importancia, plagas insectiles y enfermedades fungosas del cultivo de guanábano*. Santiago Ixcuintla, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Hernández, F. L., Nolasco, Y. G., & Cruz, E. J. (2017). *Selección y caracterización de guanábana y recomendaciones para su manejo agronómico*. Santiago Ixcuintla, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- 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.
- Hotelling, H. A. (1951). Generalized *t* test and measure of multivariate dispersion. In: *Proceedings of the 2nd Berkeley Symposium of Mathematical Statistic and Probability* (pp. 23-41). Berkeley, USA: University of California Press.
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Juárez-López, P., Sumaya-Martínez, M. T., & Bello-Lara, J. E. (2016). Caracterización de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1261-1270. doi: 10.29312/remexca.v7i6.175
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Sánchez-Herrera, L. M., Jiménez-Ruiz, E. I., Bello-Lara, J. E., García-Paredes, J. D., & Juárez-López, P. (2017). Cold storage of two selections of soursop (*Annona muricata* L.) in Nayarit, Mexico. *Journal of Food Quality*, 2017(1), 1-9. doi: 10.1155/2017/4517469
- Johnson, D. E. (1998). *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. Ciudad de México, México: International Thomson Editores.
- Márquez-Cardozo, J. C., Cartagena-Valenzuela, J. R., & Ciro-Velasquez, H. J. (2012). Physicochemical characteristics and finite element simulation of firmness in soursop fruits (*Annona muricata* L. cv. Elita) during postharvest. *Dyna*, 79(172), 141-147. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/22012>
- McGuire, G. R. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255. doi: 10.21273/HORTSCI.27.12.1254
- Moreno-Hernández, C. L., Sáyago-Ayerdi, S. G., García-Galindo, H. G., Mata-Montes de Oca, M., & Montalvo-González, E. (2014). Effect of application of 1-methylcyclopropene and wax emulsions on proximate analysis and some antioxidants of soursop (*Annona muricata* L.). *The Scientific World Journal*, 2014, 1-7. doi: 10.1155/2014/896853
- Morton, J. F. (2013) *Fruits of warm climates*. Miami, USA: Echo Point Books & Media.
- Nolasco-González, Y., Hernández-Fuentes, L. M., & Montalvo-González, E. (2019). Caracterización morfológica y fisicoquímica de frutos de accesiones de guanábanas seleccionadas en Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23, 223-237. doi: 10.29312/remexca.v0i23.2023
- Núñez-Colín, C. A., & Escobedo-López, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 415-427. doi: 10.15517/am.v22i2.8746
- Núñez-Colín, C. A., & Escobedo-López, D. (2014). Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1(1), 1-6. Retrieved from <http://aap.uaem.mx/index.php/agricolaypecuaria/article/view/45>
- Ortiz-López, J. A., Hernández-Fuentes, L. M., Manzanilla-Ramírez, M. A., & Molina-Ochoa, J. (2015). Caracterización morfométrica de germoplasma de guanábana (*Annona muricata* L.) cultivadas en Tecmán, Colima, México. In: Vidal-Lezama, E., Vidal-Martínez, N. A., & Vidal-Hernández, L. (Eds.), *Anonáceas. Plantas antiguas. Estudios recientes. Parte 2*. (pp. 123-131). Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Paull, R. E., & Duarte, O. (2011). Annonas: cherimoya, atemoya and sweetsop. In: Paull, R. E., & Duarte, O. (Eds.), *Tropical fruits*, V. 1 (pp. 123-152). Oxfordshire, UK: CABI.
- Paull, R. E., & Duarte, O. (2012). Annonas: Soursop and Rollinia. In: Paull, R. E., & Duarte, O. (Eds.), *Tropical fruits*, V. 2. (pp. 1-24). Oxfordshire, UK: CABI.
- Pinto, A. C., & Andrade, S. R. (2005). Genetic improvement. In: Pinto, A. C., Filgueiras, M. C., Alvez, R. E., & Kinpara, D. I. (Eds.), *Annona species* (pp. 53-69). Southampton, UK: University of Southampton.

- Pohlan, J., Borgman, J., Flores-García, R., Lerma-Molina, J. N., & Pérez-Romero, A. (1997). ¿La fruticultura chiapaneca – un arco iris para una fruticultura tropical sostenible? *Journal of Agriculture in the Tropics and Subtropics*, 98, 43-50. Retrieved from <https://jarts.info/index.php/tropenlandwirt/article/viewFile/903/208>
- Ramkhelawan, E. (2008). *Production guide for sapodilla, soursop and sugar apple*. Trinidad and Tobago: Inter American Institute for Cooperation on Agriculture.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice, C. E. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1337. doi: 10.1016/s0891-5849(98)00315-3
- Rosas, G. X., & Becerra, E. N. (2012). *Manual de producción de guanábana (Annona muricata L.)*. Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- SAS. (1999). *SAS OnlineDoc*®, ver. 8. Cary: SAS Institute Inc.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Retrieved April 12, 2020 from <http://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. doi: 10.1016/S0076-6879(99)99017-1
- Talamantes-Sandoval, C. A., Cortés-Cruz, M., Balois-Morales, R., López-Guzmán, G. G., & Palomino-Hermosillo, Y. A. (2019). Análisis molecular de la diversidad genética en guanábana (*Annona muricata* L.) mediante marcadores srp. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 209-2014. Retrieved from <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/42-3/3a.pdf>
- Terán-Erazo, B., Alia-Tejagal, I., Balois-Morales, R., Juárez-López, P., López-Guzmán, G. G., Pérez-Arias, G. A., & Núñez-Colín, C. A. (2019). Caracterización física, química y morfológica de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Agrociencia*, 53(7), 1013-1027. Retrieved from <https://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2019/oct-nov/art-6.pdf>
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistics Association*, 58(301), 236-244. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Whitman, F. F., Blades, D. F., & Devlin, R. M. (1971). *Experiments in plant physiology*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Yahia, E. M., Carrillo-Lopez, A., & Bello, A. L. (2018). Carbohydrates. In: Yahia, E., & Carrillo-Lopez, A. (Eds.), *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 175-205). Kidlington, UK: Elsevier-Woodhead.