

CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MORFOLOGÍA DE FRUTOS DE GUANÁBANA (*Annona muricata* L.)

PHYSICAL, CHEMICAL AND MORPHOLOGICAL FRUIT CHARACTERIZATION OF SOURSOUP (*Annona muricata* L.)

Benito **Terán-Eraza**¹, Iran **Alia-Tejcal**^{1*}, Rosendo **Balois-Morales**², Porfirio **Juárez-Lopez**¹, Graciela G. **López-Guzmán**², Gloria A. **Pérez-Arias**¹, Carlos A. **Núñez-Colín**³

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Avenida Universidad, Núm. 1001. Colonia Chamilpa, 62209. Cuernavaca, Morelos. ²Unidad de Tecnología de Alimentos-Secretaría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma del Estado de Nayarit, Mexico. ³Programa de Biotecnología, Universidad de Guanajuato, Mutualismo 303, Colonia La suiza, 38060, Celaya, Guanajuato, México.

RESUMEN

La guanábana (*Annona muricata* L.) es un frutal tropical con gran aceptación en las regiones donde se cultiva. En México hay cerca de 3000 ha de esta especie, la mayoría a pie franco y hay evaluaciones parciales de características físicas, químicas y morfológicas del fruto o el árbol, en algunas regiones productoras del país. El objetivo de esta investigación fue evaluar la masa, dimensiones, calidad química y actividad antioxidante de frutos cosechados en madurez fisiológica de 52 árboles en tres localidades de Nayarit, México. Con estadística descriptiva, análisis de conglomerados y discriminante canónico se definieron materiales promisorios para su posterior mejoramiento genético. Las poblaciones mostraron gran variación en la masa del fruto y sus estructuras, número de semillas (CV de 42.96 a 74.35%), la masa mínima varió de 261 a 2535 g. Las dimensiones, componentes del color (L*, C* y h), contenido de sólidos solubles totales y acidez titulable mostraron CV bajo (6.95 a 28.7%). Los sólidos soluble totales superaron los 20.1 °Brix. El contenido de fenoles, flavonoides, azúcares solubles, vitamina C y actividad antioxidante variaron de 31.2 a 43.1%. Cuatro grupos de árboles se formaron con 19, 14, 15 y 4 integrantes, de acuerdo con el análisis de agrupación, que se basó principalmente en los fenoles, la actividad antioxidante, las dimensiones del fruto, la masa y el número de semillas. En esta investigación se determinaron materiales con características nutricionales y productivas (Grupos 3 y 4) con potencial para su mejoramiento genético.

Palabras clave: *Annona muricata*, actividad antioxidante, azúcares, fenoles, vitamina C.

ABSTRACT

Soursop (*Annona muricata* L.) is a tropical fruit tree with great acceptance in the regions where it is grown. In Mexico there are about 3000 ha of this species, most of them free of charge and there are partial evaluations of physical, chemical and morphological characteristics of the fruit or tree in some producing regions of the country. The objective of this research was to evaluate the mass, dimensions, chemical quality and antioxidant activity of fruits harvested in physiological maturity of 52 trees in three locations in Nayarit, Mexico. With descriptive statistics, cluster analysis and canonical discriminant, we defined promising materials for subsequent genetic improvement.

The populations showed great variation in the mass of the fruit and its structures, number of seeds (CV from 42.96 to 74.35%); the minimum mass varied from 261 to 2535 g. The dimensions, color components (L*, C* and h), total soluble solids content and titratable acidity showed low CV (6.95 to 28.7%). Total soluble solids exceeded 20.1 ° Brix. The content of phenols, flavonoids, soluble sugars, vitamin C and antioxidant activity varied from 31.2 to 43.1%. Four groups of trees were formed with 19, 14, 15 and 4 members, according to the cluster analysis, which was mainly based on phenols, antioxidant activity, fruit dimensions, mass and number of seeds. In this study, we defined materials with nutritional and productive characteristics (Groups 3 and 4), and potential for genetic improvement.

Key words: *Annona muricata*, antioxidant activity, sugars, phenols, vitamin C.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2018. Aprobado: julio, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 1013-1027. 2019.

INTRODUCCIÓN

La guanábana (*Annona muricata* L.) es un frutal originario de América tropical (Franco y Janzatti, 2005), su centro de origen está en la región del Caribe, aunque también está distribuida en las tierras bajas tropicales del este y oeste de África y sureste de China (Paull y Duarte, 2012). El árbol de guanábana es tropical siempre verde, pertenece a la familia de las Annonaceae y desarrolla frutos entre 0.9 y 10 kg. Estos tienen una epidermis con protuberancia de los carpelos y pulpa fibrosa, por lo general con más de 100 semillas de 1 a 2 cm de longitud (Jiménez *et al.*, 2014). La guanábana es uno de los frutos más deseables en el mundo por su pulpa cremosa y su sabor excelente (Márquez *et al.*, 2013).

En México durante el 2015 la guanábana se cultivó en 2964.1 ha, con un rendimiento promedio de 6.83 t ha⁻¹ y un valor de la producción total cercana a los 102 millones de pesos (SIAP, 2017). En el estado de Nayarit hay 1985.1 ha (69.7%) de la superficie establecida de guanábana y se cultiva en los municipios Compostela, San Blas, Bahía de Banderas, Tepic y Xalisco, con 1907, 52.4, 12, 7.16 y 6.54 ha, respectivamente (SIAP, 2017). La producción de guanábana en México se exporta a través del año y hay un aumento en los valores promedio de consumo en el mercado en fresco (Coelho y Alves, 2011).

Los frutos de guanábana en México presentan gran diversidad de genotipos porque la mayoría de las plantaciones están constituidas por árboles propagados por semilla y esta variabilidad se ha estudiado poco (Evangelista *et al.*, 2003). Según Hernández *et al.* (2013), en Nayarit la tecnología de producción es deficiente ya que no hay variedades, sino que los huertos se establecen con plantas de semilla por lo que se producen frutos con mucha variación en la forma y tamaño. Esta característica sugiere un vasto recurso genético, la que se puede aprovechar en investigaciones sobre la selección de genotipos superiores a través de la caracterización, selección, uso y conservación.

El conocimiento de la variabilidad genética y las relaciones entre las poblaciones es importante para entender la variabilidad genética y su uso potencial en programas de mejoramiento genético (Hayward y Breese, 1993). Las características morfológicas proveen un estimado de la variabilidad genética y varias

INTRODUCTION

Soursop (*Annona muricata* L.) is a fruit tree native to tropical America (Franco and Janzatti, 2005); it is originally from the Caribbean region, although it is also distributed in the tropical lowlands of East and West Africa and southeast China (Paull and Duarte, 2012).

The soursop tree is tropical and always green, belongs to the family of Annonaceae and bears fruits between 0.9 and 10 kg. These have an epidermis with bumps of carpels and fibrous pulp, usually with more than 100 seeds 1 to 2 cm in length (Jiménez *et al.*, 2014). Soursop is one of the most desirable fruits in the world for its creamy pulp and excellent flavor (Márquez *et al.*, 2013).

In 2015, the cultivation of soursop in Mexico reached 2964.1 ha, with an average yield of 6.83 t ha⁻¹ and a total production value close to 102 million pesos (SIAP, 2017).

In the state of Nayarit there are 1985.1 ha (69.7%) of the established soursop area that extends to the municipalities of Compostela, San Blas, Bahía de Banderas, Tepic and Xalisco, with 1907, 52.4, 12, 7.16 and 6.54 ha, respectively (SIAP, 2017). Soursop production in Mexico is exported throughout the year and there is an increase in average consumption values in the fresh market (Coelho and Alves, 2011).

Soursop fruits in Mexico have a great diversity of genotypes because most plantations are made up of trees sown with seeds and there are few studies on this form of cultivation (Evangelista *et al.*, 2003). According to Hernández *et al.* (2013), production technology in Nayarit is deficient since there are no varieties, as orchards are established with seed plants so that the fruits produced vary greatly in shape and size. This characteristic suggests a vast genetic resource, which can be used in research on the selection of superior genotypes through characterization, selection, use and conservation.

Knowledge of genetic variability and relationships between populations is important in order to understand genetic variability and its potential use in breeding programs (Hayward and Breese, 1993). Morphological characteristics provide an estimate of genetic variability and several numerical taxonomic techniques that help classify and measure phenotypic variation in some fruit trees (Mehmood *et al.*, 2014).

técnicas taxonómicas numéricas que ayudan a clasificar y medir la variación fenotípica en algunos frutales (Mehmood *et al.*, 2014).

En México, Cruz *et al.* (2002) indicaron que no hay colecciones de guanábano para desarrollar programas de mejoramiento genético. Sin embargo, Andrés (2015) señaló que de 2002 a 2014 se han recolectado y conservado *ex situ* materiales de guanábana. En Jiutepec, Morelos, Evangelista *et al.* (2003) determinaron la formación de tres grupos en 65 árboles de guanábana con 18 años de edad y, la producción, el color de fruto, diámetro de tronco y porcentaje de ácido málico ayudó a la conformación de los grupos. Rosas y Becerra (2012) realizaron recolectas y caracterización física y química parcial de algunas selecciones de guanábana en Veracruz. Ortiz *et al.* (2015) evaluaron algunos árboles de tipo criollo y clones de Costa Rica, en huertas comerciales de Colima, México. Jiménez *et al.* (2016) estudiaron una población de 13 árboles a pie franco de 8 años de edad en Tepic, Nayarit, y observaron cuatro grupos con base en la masa, las dimensiones y el color de la cáscara de los frutos, y definieron algunos árboles de guanábana con potencial para el mercado fresco e industrial y para propagar la especie.

Todavía hay poca información de materiales en Nayarit, la región productora más importante de México. Los estudios de caracterización de frutos se enfocan a la masa, dimensiones, proporciones de las estructuras y pocas características químicas. Vallejo *et al.* (2014) indicaron que es importante conocer, en frutos de interés regional, sus beneficios al consumirlos o para extraer los compuestos bioactivos y usarlos como ingredientes en la elaboración o el diseño de alimentos funcionales. Según Diamanti *et al.* (2011), los consumidores de frutas exigen además de una diversidad de productos, aquellos con un mayor aporte nutricional y alto contenido de compuestos funcionales cuando se consumen, pero en guanábana cultivada en México hay poca información. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue caracterizar los frutos de guanábana cultivada en tres municipios de Nayarit, en aspectos físicos, químicos y morfológicos para identificar materiales promisorios y utilizarlos en el futuro en programas de mejoramiento genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

En 2016 se seleccionaron árboles de guanábana en tres huertas comerciales, ubicadas en El Tonino, Compostela (21° 14' 14" N,

In Mexico, Cruz *et al.* (2002) indicated that there are no soursop collections to develop genetic improvement programs. However, Andrés (2015) pointed out that from 2002 to 2014, soursop materials have been collected and conserved *ex situ*. In Jiutepec, Morelos, Evangelista *et al.* (2003) determined the formation of three groups in 65 soursop trees aged 18, and the production, fruit color, trunk diameter and percentage of malic acid helped the formation of the groups. Rosas and Becerra (2012) made collections and partial physical and chemical characterization of some soursop selections in Veracruz. Ortiz *et al.* (2015) evaluated some native trees and clones from Costa Rica in commercial gardens in Colima, Mexico. Jiménez *et al.* (2016) studied a population of 13 graftless trees of 8 years of age in Tepic, Nayarit, observed four groups based on the mass, dimensions and color of the fruit shell, and defined some soursop trees with potential for the fresh and industrial market and to propagate the species.

There is still little information in Nayarit, the most important producing region of Mexico. Fruit characterization studies focus on mass, dimensions, proportions of structures and few chemical characteristics.

Vallejo *et al.* (2014) indicated that it is important to know the benefits of fruits of regional interest when consuming them or extracting bioactive compounds and using them as ingredients in the elaboration or design of functional foods. According to Diamanti *et al.* (2011), fruit consumers demand not only a variety of products, but those with a higher nutritional intake and high content of functional compounds when consumed, but in soursop grown in Mexico there is little information. Therefore, the objective of this study was to characterize the soursop fruits grown in three municipalities of Nayarit, regarding physical, chemical and morphological aspects to identify promising materials and use them in future breeding programs.

MATERIALS AND METHODS

In 2016, we selected soursop trees in three commercial orchards, located in El Tonino, Compostela (21° 14' 14" N, 104° 54' 04" W, 301 masl) (TO); Tecuitata, San Blas (21° 32' 23" N, 105° 17' 08" W; 10 m) (TC) and Venustiano Carranza, Tepic (21° 30' N, 104° 54' W, 920 masl) (VC). All trees came directly from fruit seeds in the region.

104° 54' 04" O, 301 msnm) (TO); Tecuitata, San Blas (21° 32' 23" N, 105° 17' 08" O; 10 m) (TC) y Venustiano Carranza, Tepic (21° 30' N, 104° 54' O, 920 msnm) (VC). Todos los árboles provienen de semilla de frutos a pie franco de la región.

En la zona productora se hicieron visitas durante el año para identificar en las huertas árboles de guanábana *in situ* que se consideren sobresalientes por los productores en rendimiento y calidad de la fruta, de acuerdo con Chalak *et al.* (2014). En la zona de estudio se identificaron 52 árboles; 12 de Venustiano Carranza, Tepic; 20 del Tonino, Compostela y 9 de Tecuitata, San Blas. En cada árbol se cosecharon de tres a nueve frutos en madurez fisiológica (Jiménez *et al.*, 2016) y se llevaron a madurez de consumo para evaluar características químicas, físicas y morfológicas.

Cada fruto se seccionó en cascara, pulpa y semilla y se determinó su peso con una balanza digital (OHAUS®, USA); además se cuantificó el número de semillas por fruto. El diámetro ecuatorial, polar y diámetro menor perpendicular al diámetro polar del fruto, se determinó utilizando una cinta métrica y regla. El color de epidermis del fruto se determinó con un espectrofotómetro X-rite® (mod. 3290, USA), se obtuvieron los valores de luminosidad (L*), cromaticidad (C*) y matiz (h) (Solorzano *et al.* 2015), y se realizaron tres mediciones en la zona ecuatorial del fruto.

Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron en dos gotas de jugo de cada fruto evaluado, las cuales se colocaron en un refractómetro (ATAGO PAL-1®, Japón) y los resultados se reportaron en °Brix. La acidez titulable se determinó en pulpa de acuerdo con lo establecido por la AOAC (1990), se tituló con NaOH 0.1 N, se usó fenolftaleína como indicador, y los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico (Paull *et al.*, 1983; Sacramento *et al.*, 2003). Los azúcares totales se obtuvieron con el método de antrona descrito por Whitam *et al.* (1971).

La actividad antioxidante se determinó con los métodos de ABTS, DPPH y FRAP. Primero se pesó 1 g de pulpa y se homogenizó con 10 mL de agua destilada, la mezcla se centrifugó a 10 000 rpm y el sobrenadante se utilizó para determinar la actividad antioxidante y contenido de fenoles totales, los cuales se determinaron según la metodología de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999). La actividad antioxidante por el método de DPPH se determinó según la metodología propuesta por Brand *et al.* (1995), con mínimas modificaciones: en una celda de cuarzo de 3 mL se colocó una solución de DPPH metanólica 6.1×10^{-5} M (Sigma Aldrich®, USA) y reaccionaron con 100 μ L de solución de muestra, la mezcla reposó 30 min en la oscuridad y se leyó a 517 nm el cambio de absorbancia. Una curva de calibración se construyó con ácido ascórbico y los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g^{-1} de peso fresco, al realizar una curva de calibración con dicho reactivo. Para ABTS se preparó el reactivo de ABTS (Sigma-Aldrich®, USA) 7 mM y persulfato de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) a 2.45 mM, se mezcló

We did visits to the production area during the year to identify sour sop trees *in situ* in the orchards that are considered outstanding by producers regarding fruit yield and quality, according to Chalak *et al.* (2014). In the study area we identified 52 trees; 23 in Venustiano Carranza, Tepic; 20 in Tonino, Compostela and 9 in Tecuitata, San Blas. In each tree, three to nine fruits were harvested in physiological maturity (Jiménez *et al.*, 2016) and taken to consumption maturity to assess chemical, physical and morphological characteristics. We sectioned each fruit in its husk, pulp and seed and weighed them with a digital scale (OHAUS®, USA); in addition, we recorded the number of seeds per fruit. The equatorial diameter, polar and smaller diameter perpendicular to the polar diameter of the fruit was determined by using a measuring tape and ruler. The color of the fruit epidermis was determined with an X-rite® spectrophotometer (mod. 3290, USA), as well as the luminosity (L*), chromaticity (C*) and hue (h) values were registered (Solorzano *et al.* 2015), and three measurements made in the equatorial zone of the fruit.

Total soluble solids (SST) were found in two drops of juice of each fruit evaluated, and placed in a refractometer (ATAGO PAL-1®, Japan); the results were reported in °Brix. We determined titratable acidity in pulp in accordance with the provisions established by the AOAC (1990), titrated with 0.1 N NaOH, phenolphthalein used as an indicator, and reported the results as a percentage of citric acid (Paull *et al.*, 1983; Sacramento *et al.*, 2003). Total sugars were obtained by using the method of anthrone described by Whitam *et al.* (1971).

To determine the antioxidant activity, we used the ABTS, DPPH and FRAP methods. First, we weighed 1 g of pulp and homogenized it with 10 mL of distilled water; the mixture was centrifuged at 10 000 rpm and the supernatant was used to determine the antioxidant activity and the total phenolic content; for the latter we utilized the Folin-Ciocalteu methodology (Singleton *et al.*, 1999). The antioxidant activity by the DPPH method was determined according to the methodology proposed by Brand *et al.* (1995), with minimal modifications: in a 3 mL quartz cell we placed a 6.1×10^{-5} M methanolic DPPH solution (Sigma Aldrich®, USA) and obtained a reaction with 100 μ L of sample solution; the mixture rested 30 min in the dark and the change in absorbance was read at 517 nm. We built a calibration curve with ascorbic acid and expressed the results in mg equivalent to 100 g^{-1} fresh weight ascorbic acid (EAA), when performing a calibration curve with that reagent. For ABTS, we prepared the ABTS reagent (Sigma-Aldrich®, USA) 7 mM and potassium persulfate ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) at 2.45 mM, mixed 1:1, left to rest for 16 h and diluted with 20% ethanol until reaching an absorbance of 0.7 ± 0.02 at 734 nm. Then we added 3 mL of ABTS with 50 μ L of sample that reacted for 15 min; the absorbance was read at

1:1, reposó 16 h y se diluyó con etanol 20% hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Luego se agregaron 3 mL de ABTS con 50 μL de muestra y reaccionó durante 15 min, se leyó la absorbancia a 734 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g^{-1} peso fresco, obtenidos desde una curva de calibración (Re *et al.*, 1999).

La actividad antioxidante por FRAP se realizó mediante la metodología de Benzie y Strain (1996): se preparó el reactivo FRAP (TPTZ, FeCl_3 y tampón acetato); se mezclaron 1.8 mL de FRAP con 140 μL de agua destilada y 60 μL de muestra, reaccionaron 30 min a 37 °C y transcurrido el tiempo de reacción se leyó la absorbancia a 593 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g^{-1} peso fresco con una curva de calibración de ácido ascórbico.

Los flavonoides totales se determinaron con la metodología de Arvouet-Grand *et al.* (1994). Primero, 1 g de pulpa se homogenizó con 10 mL de metanol en un Ultra Turrax (IKA®, USA) y se centrifugó 15 min a 10 000 g a 4 °C. Del sobrenadante se tomaron 2 mL de muestra, reaccionaron con 2 mL de tricloruro de aluminio al 2% p/v, reposaron 15 min en la oscuridad y las muestras se leyeron a 415 nm en un espectrofotómetro (HACH DR 5000®). Una curva estándar de Quercetina se usó y los resultados se expresaron como mg equivalentes de Quercetina (EQ) 100 g^{-1} peso fresco.

La metodología propuesta por Jagota y Dani (1984) se usó para determinar vitamina C, donde 0.8 mL de una solución de ácido tricloroacético al 10 % (p/v) se adicionaron a una muestra de 1 g de pulpa de frutos de guanábana y 10 mL de agua destilada, y se homogenizaron con un Ultraturax (IKA®, USA). La mezcla se colocó en baño de hielo por 5 min y se centrifugó 5 min a 4 000 g. Después se realizó una mezcla de reacción con 0.5 mL del sobrenadante, 2 mL de agua doble destilada y 200 mL de una solución diluida del reactivo de Folin-Ciocalteu, reposó 10 min y se tomó la lectura en un espectrofotómetro (HACH DR 5000®, USA) a una absorbancia de 760 nm. Para calcular la concentración de vitamina C en las muestras se construyó una curva de calibración utilizando ácido ascórbico (AA), y la concentración se expresó en mg de AA 100 g^{-1} .

Análisis de datos

Los datos de las variables cuantitativas se estudiaron por estadística descriptiva (Castillo, 2011) y después con un análisis clúster usando distancias euclidianas y el método de varianzas mínimas de Ward (1963) donde el número de grupos se estimó

734 nm. The results were expressed in equivalent mg of ascorbic acid (EAA) 100 g^{-1} fresh weight, obtained from a calibration curve (Re *et al.*, 1999).

We conducted the antioxidant activity by FRAP using the methodology by Benzie and Strain (1996): the FRAP reagent (TPTZ, FeCl_3 and acetate buffer) was prepared; 1.8 mL of FRAP were mixed with 140 μL of distilled water and 60 μL of sample, left to react for 30 min at 37 °C and then the absorbance was read at 593 nm. Results were expressed in equivalent mg of ascorbic acid (EAA) 100 g^{-1} fresh weight with a calibration curve of ascorbic acid.

We determined total flavonoids by using the methodology by Arvouet-Grand *et al.* (1994). First, 1 g of pulp was homogenized with 10 mL of methanol in an Ultra Turrax (IKA®, USA) and centrifuged for 15 min at 10 000 g at 4 °C; 2 mL of sample were taken from the supernatant, that reacted with 2 mL of 2% p/v aluminum trichloride, left to rest for 15 min in the dark and the samples read at 415 nm on a spectrophotometer (HACH DR 5000®). We used a standard Quercetin curve and expressed the results as equivalent mg of Quercetin (EQ) 100 g^{-1} fresh weight. We used the methodology proposed by Jagota and Dani (1984) to determine vitamin C, adding 0.8 mL of a 10% trichloroacetic acid solution (w/v) to a 1 g sample of soursop fruit pulp and 10 mL of distilled water, and homogenizing it with an Ultraturax (IKA®, USA). The mixture was placed in an ice bath for 5 min and centrifuged for 5 min at 4,000 g. Then we conducted a reaction mixture with 0.5 mL of the supernatant, 2 mL of double distilled water and 200 mL of a diluted solution of the Folin-Ciocalteu reagent, left to rest for 10 min and read using a spectrophotometer (HACH DR 5000®, USA) at an absorbance of 760 nm. To calculate the concentration of vitamin C in the samples, we built a calibration curve using ascorbic acid (AA), and expressed the concentration in mg of AA 100 g^{-1} .

Data analysis

We studied the data of the quantitative variables using descriptive statistics (Castillo, 2011) and then a cluster analysis with Euclidean distances and the method of minimum variances of Ward (1963), estimating the number of groups with the pseudostatistic F^2 by Hotelling (1951). For the resulting groups we performed a canonical discriminant analysis according to Johnson (1998) and Núñez-Colín and Escobedo-López (2014). All these tests were calculated using the SAS Ver. 8.0 program (SAS Institute, 1999).

con el pseudoestadístico t^2 de Hotelling (1951). Para los grupos resultantes se realizó un análisis discriminante canónico de acuerdo con Johnson (1998) y Núñez-Colín y Escobedo-López (2014). Todas estas pruebas se calcularon con el programa SAS Ver. 8.0 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadística descriptiva de la población

El peso de frutos de guanábana mostró alta variación (42.9%) y el máximo valor se obtuvo en frutos de San Blas (Cuadro 1). Jiménez *et al.* (2016) determinaron frutos de guanábana de 837 g a 2513 g y CV de 25.7 %. En Colima se evaluaron materiales criollos y de Costa Rica y los primeros tuvieron pesos de 717 a 832 g, y los segundos de 722 a 1591 g (Ortiz *et al.*, 2015). En Veracruz, Rosas y Becerra (2012)

RESULTS AND DISCUSSION

Descriptive population statistics

The weight of soursop fruits showed high variation (42.9%) and the maximum value was obtained in fruits of San Blas (Table 1). Jiménez *et al.* (2016) determined soursop fruits from 837 g to 2513 g and CV of 25.7%. In Colima, we evaluated native and Costa Rican materials; the former recorded weights of 717 to 832 g, and the latter 722 to 1591 g (Ortiz *et al.*, 2015). In Veracruz, Rosas and Becerra (2012) reported 11 soursop selections with an average weight of 800 to 1400 g, but the fruits reached a maximum weight of 1.1 to 3 kg; in addition, the clones introduced from Costa Rica produced fruits with an average weight of 1.6 to 2.6 kg and a maximum mass of 2.5 to 4 kg. This indicates that the soursop fruits

Cuadro 1. Descriptores de características cuantitativas y parámetros estadísticos de la muestra de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.).

Table 1. Descriptors of quantitative characteristics and statistical parameters of the soursop fruit sample (*Annona muricata* L.).

Descriptores	\bar{x}	s^2	R	Mín.	Máx.	CV (%)
Masa de fruto (g)	976.96	419.73	2274	261.1 (T12)	2535 (TC9)	42.96
Peso de cáscara (g)	155.61	72.06	518	42 (T12)	560 (VC26)	46.30
Peso de pulpa (g)	583.81	276.18	1663	161 (T12)	1824 (TC9)	47.30
Peso de semillas (g)	58.23	48.35	218.90	4.0 (T18)	222.9 (VC11)	83.02
Semillas (número)	102.27	76.4	335	9.0 (T18)	344.0 (VC11)	74.35
Diámetro polar (cm)	16.63	3.13	16.30	10.0 (VC2, T12)	26.3 (VC26)	18.85
Diámetro ecuatorial (cm)	11.03	1.44	7.00	8 (T12, T18, VC30)	15.0 (TC9, T6)	13.12
Diámetro menor (cm)	9.88	1.52	7.50	6.5 (T20)	14.0 (T20)	15.37
Luminosidad	45.32	5.659	30.26	28.95 (VC34)	59.21 (T12)	12.48
Cromaticidad	21.13	14.03	47.45	7.20 (VC34)	40.25 (T19)	28.80
Matiz	94.84	6.59	49.58	60.30 (VC13)	109.89 (VC3)	6.95
Sólidos solubles totales (°Brix)	14.22	2.50	11.90	8.20 (T10)	20.10 (VC33)	17.62
Acidez titulable (%)	0.52	0.150	0.692	0.17 (VC9)	0.86 (T9)	28.70
Azúcares totales (mg g ⁻¹)	98.05	30.63	180.48	29.37 (VC13)	209.86 (T16)	31.24
Fenoles totales (mg EAG g ⁻¹)	64.20	28.43	215.55	29.83 (T2)	245.38 (T17)	44.28
Flavonoides (mg EQ 100g ⁻¹)	2.17	0.783	8.79	1.48 (TC11)	10.28 (T2)	36.101
DPPH (mg EAA 100g ⁻¹)	64.13	24.14	159.62	23.95 (VC2)	183.58 (T17)	37.64
ABTS (mg EAA 100g ⁻¹)	82.64	35.00	306.66	33.17 (VC2)	339.84 (T17)	42.35
FRAP (mg EAA 100g ⁻¹)	76.29	32.94	189.85	17.07 (VC2)	206.93 (T11)	43.17
Vitamina C (mg AA 100g ⁻¹)	13.28	4.21	16.85	6.56 (VC16)	23.42 (T4)	31.73

AADPPH, AAABTS y AAFRAP: Actividad antioxidante por el método de DPPH, ABTS y FRAP. EAG: Equivalentes de ácido gálico; EQ: Equivalente de quercetina; EEA: Equivalentes de ácido ascórbico. Entre paréntesis se indica la localidad donde se obtuvo el fruto y el valor máximo o mínimo. T: Tonino, Compostela; TC: Tecuitata, San Blas; VC: Venustiano Carranza, Tepic ♦ AADPPH, AAABTS and AAFRAP: Antioxidant activity by the method of DPPH, ABTS and FRAP. EAG: Gallic acid equivalents; EQ: Quercetin equivalent; EEA: Equivalents of ascorbic acid. In parentheses the location where the fruit was obtained and the maximum or minimum value is indicated. T: Tonino, Compostela; TC: Tecuitata, San Blas; VC: Venustiano Carranza, Tepic.

reportaron 11 selecciones de guanábana con peso promedio de 800 a 1400 g, pero los frutos alcanzaron un peso máximo de 1.1 a 3 kg; además, clones introducidos de Costa Rica producen frutos con peso promedio de 1.6 a 2.6 kg y masa máxima de 2.5 a 4 kg. Lo anterior indica que los frutos de guanábana de Nayarit, Colima y Veracruz son de peso menor que los clones de Costa Rica, y esto se debe a que los productores seleccionan árboles de esta característica o a que los frutos se desarrollan en huertas en condiciones de temporal.

La proporción de peso de pulpa, cáscara y semilla fue 73.2, 19.5 y 7.3% similar a lo reportado por Jiménez *et al.* (2016). Los frutos de un árbol de San Blas mostraron la mayor proporción de pulpa, en tanto que con peso mayor de semilla y cáscara fueron de un árbol de Tepic (Cuadro 1). Solís *et al.* (2010) evaluaron frutos de guanábana provenientes de Actopan, Veracruz, y determinaron que las proporciones de pulpa, cáscara y semilla fueron 70.3, 18.8 y 5.4%, respectivamente. Rosas y Becerra (2012) cuantificaron 71 a 89% de pulpa en 11 selecciones de guanábana de Veracruz, y comparado con clones de Costa Rica la proporción de pulpa fue 75 a 81.2%. Estos datos sugieren que en guanábana la proporción de pulpa en diversas regiones del país y del mundo se debe considerar mayor a 70%, y que los frutos de Nayarit pueden competir con algunas selecciones comerciales.

El número de semillas varió de 9 a 344 semillas por fruto, con un promedio de 102.7 (Cuadro 1). Jiménez *et al.* (2016) reportaron 19 a 311 semillas por fruto con un promedio de 137. Ortiz *et al.* (2015) indicaron que frutos de árboles criollos de guanábana producen 33.2 a 68.2 semillas por fruto, y Rosas y Becerra (2012) informaron 39 a 45 semillas en selecciones con menor presencia de estas estructuras. Los diámetros ecuatorial y polar mostraron coeficientes de variación entre 13.12 y 18.85 % (Cuadro 1), mayor a lo reportado por Jiménez *et al.* (2016) de 12.4 y 13%, respectivamente. El diámetro menor del fruto varió entre 6.5 y 14 cm (Cuadro 1) con un bajo coeficiente de variación (15.3%). Las dimensiones del fruto son importantes para el diseño de empaques en poscosecha de los frutos, pero no hay estudios al respecto en guanábana.

El color de los frutos de guanábana mostró tendencia entre el naranja y verde ($h=60.3$ y 109.89) con baja luminosidad ($L^*=$ entre 28.95 y 59.12) y opacos

of Nayarit, Colima and Veracruz weigh less than the clones of Costa Rica, which is due to the fact that the producers select trees of this characteristic or that the fruits are grown in orchards under rainfed conditions.

The pulp, shell and seed weight values were 73.2, 19.5 and 7.3% similar to those reported by Jiménez *et al.* (2016). The fruits from a San Blas tree showed the largest amount of pulp, while a tree in Tepic recorded greater weight values of seed and shell (Table 1).

Solís *et al.* (2010) evaluated soursop fruits from Actopan, Veracruz, and determined that the proportions of pulp, shell and seed were 70.3, 18.8 and 5.4%, respectively. Rosas and Becerra (2012) quantified 71 to 89% of pulp in 11 soursop selections from Veracruz, and when compared to Costa Rican clones, the proportion of pulp was 75 to 81.2%. These data suggest that the proportion of soursop pulp in various regions of the country and the world should be considered above 70%, and that the fruits of Nayarit can compete with some commercial selections.

The number of seeds varied from 9 to 344 seeds per fruit, with an average of 102.7 (Table 1). Jiménez *et al.* (2016) reported 19 to 311 seeds per fruit with an average of 137. Ortiz *et al.* (2015) indicated that fruits from soursop native trees produce 33.2 to 68.2 seeds per fruit, and Rosas and Becerra (2012) reported 39 to 45 seeds in selections with less presence of these structures.

The equatorial and polar diameters showed coefficients of variation between 13.12 and 18.85% (Table 1), greater than that reported by Jiménez *et al.* (2016) of 12.4 and 13%, respectively. The smaller diameter of the fruit varied between 6.5 and 14 cm (Table 1) with a low coefficient of variation (15.3%). The dimensions of the fruit are important for the design of post-harvest packaging of the fruits, but there are no studies on this in soursop.

The color of soursop fruits varied between orange and green ($h=60.3$ and 109.89) with low luminosity ($L^*=$ between 28.95 and 59.12) and opaque ($C^*=7.2-40.25$) (Table 2). In particular, the hue contrasts with that reported by Jiménez *et al.* (2016) of color tending to green ($h=$ between 151.7 and 164.9), but the parameters are similar in chromaticity and luminosity. During ripening soursop fruits tend to lose their brightness and the color of the epidermis changes from a dark green to a light green; this

($C^*=7.2-40.25$) (Cuadro 2). En particular, el matiz contrasta con lo reportado por Jiménez *et al.* (2016) de color tendiente al verde ($h=$ entre 151.7 y 164.9), pero los parámetros son similares en la cromaticidad y luminosidad. Durante la maduración de los frutos de guanábana, estos tienden a perder su brillo y el color de la epidermis cambia de un verde oscuro a un verde ligero; este cambio se atribuye a una disminución en el contenido de clorofilas a y b durante la maduración (Benkeblia y Emanuel, 2014).

Los SST fueron en promedio 14.2 °Brix, un mínimo de 8.2 y máximo de 20.1 °Brix (Cuadro 1). Jiménez *et al.* (2016) indicaron que en promedio los SST de frutos de guanábana de 13 árboles de Tepic fueron 10.9 °Brix, aunque el intervalo fue 7.1 a 14 °Brix. Jiménez *et al.* (2017) reportaron 16.6 °Brix en el ecotipo G1 y 14.5 °Brix en el ecotipo G2. Rosas y Becerra (2012) encontraron 13 a 14 °Brix en 11 selecciones del estado de Veracruz, y Ortiz *et al.* (2015) detectaron ecotipos criollos en Colima con 14 a 16 °Brix de SST. En clones de Costa Rica cultivados en Colima hay 14 a 17 °Brix, y cultivados en Tabasco 13 °Brix (Rosas y Becerra, 2012; Ortiz *et al.*, 2015).

La acidez titulable promedio fue 0.52%, en frutos con 0.17 a 0.86% (Cuadro 1). Jiménez *et al.* (2016) reportaron entre 0.3 y 1.2% de acidez titulable en frutos de guanábana evaluados en Tepic. La acidez de la guanábana aumenta durante la maduración debido al catabolismo de almidón y carbohidratos de la pared celular, la transformación de sales ácidas a la forma soluble y la baja utilización de ácidos en la respiración (Coelho y Alves, 2011).

El contenido de fenoles promedio fue 64.2 mg EAG g^{-1} de peso fresco, aunque los frutos de un árbol tuvieron 245.38 mg EAG g^{-1} de peso fresco (Cuadro 1). En Venezuela, Vit *et al.* (2014) encontraron en pulpa de guanábana 624.2 a 941.4 mg g^{-1} de peso fresco y la extracción se realizó con metanol, etanol y metanol:agua (50/50). En México, Moreno *et al.* (2014) y León *et al.* (2017) reportaron una extracción de fenoles en pulpa de guanábana de 1.56 a 3.56 g 100 g^{-1} de peso seco, y como solventes usaron metanol, acetato de etilo, agua y cloroformo, y la extracción con agua tuvo la menor concentración de fenoles. En nuestro estudio la extracción fue con agua y en pulpa fresca. La guanábana se consume en fresco y no se utilizan solventes orgánicos para su proceso, por lo cual la extracción en agua es más representativa de la concentración de fenoles totales.

Cuadro 2. Estructura canónica total de 20 variables en las tres raíces canónicas de 52 genotipos de guanábana.

Table 2. Total canonical structure of 20 variables in the three canonical roots of 52 soursop genotypes.

Variable	can1	can2	can3
Masa de fruto	-0.1586	-0.6881	0.3824
Diámetro polar	-0.2362	-0.5637	0.5696
Diámetro ecuatorial	0.0040	-0.3751	0.2736
Altura de fruto	0.0765	-0.5656	0.2927
Peso de cáscara	-0.2352	-0.3983	0.6682
Peso de pulpa	-0.1659	-0.6228	0.3515
Peso de semillas	-0.0178	-0.8448	0.2905
Número de semillas	-0.0733	-0.8117	0.3615
SST	-0.4757	0.4732	0.1122
Acidez titulable	0.1101	0.4221	0.2671
Luminosidad	0.4010	0.5144	-0.1040
Cromaticidad	0.4687	0.7148	0.1058
Matiz	-0.2076	-0.0259	-0.1785
Fenoles	-0.7262	0.0206	-0.2522
DPPH	-0.7361	0.1644	0.0364
ABTS	-0.8254	0.0390	-0.0525
FRAP	-0.7708	0.2884	0.1158
Flavonoides	-0.4879	0.2764	0.3458
Azúcares totales	-0.2335	0.6677	0.2825
Vitamina C	0.3644	0.7359	0.2489

change is attributed to a decrease in the chlorophyll content a and b during maturation (Benkeblia and Emanuel, 2014).

The SSTs were on average 14.2 °Brix, a minimum of 8.2 and a maximum of 20.1 °Brix (Table 1). Jiménez *et al.* (2016) indicated that on average the SST of soursop fruits from 13 Tepic trees were 10.9 °Brix, although the range was 7.1 to 14 °Brix. Jiménez *et al.* (2017) reported 16.6 °Brix in the G1 ecotype and 14.5 °Brix in the G2 ecotype. Rosas and Becerra (2012) found 13 to 14 °Brix in 11 selections from the state of Veracruz, and Ortiz *et al.* (2015) detected native ecotypes in Colima with 14 to 16 °Brix of SST. In clones from Costa Rica grown in Colima there were 14 to 17 °Brix, and grown in Tabasco 13 °Brix (Rosas and Becerra, 2012; Ortiz *et al.*, 2015). The average titratable acidity was 0.52%, in fruits with 0.17 to 0.86% (Table 1). Jiménez *et al.* (2016) reported between 0.3 and 1.2% titratable acidity in soursop fruits evaluated in Tepic. Soursop acidity increases during ripening due to the catabolism of starch and carbohydrates in the cell wall, the transformation of acid salts into the soluble form and the low utilization

El contenido de flavonoides promedio fue 2.17 mg EQ 100 g⁻¹ de peso fresco, con CV de 36.1% (Cuadro 1). Sandoval *et al.* (2014) identificaron y cuantificaron a los flavonoides miricetina (0.12 mg 100g⁻¹), luteolina (0.13 mg 100 g⁻¹) y apigenina (0.019 mg 100 g⁻¹) en pulpa de guanábana cultivada en Venezuela; la suma la concentración de estos flavonoides fue 0.26 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, que es 10 veces menor al promedio reportado en nuestro estudio, lo cual sugiere que los materiales de guanábana evaluados tienen mayor contenido de estas moléculas. Según Robles *et al.* (2010), estudios epidemiológicos concluyen que los flavonoides son importantes para la salud cardiovascular, además de que mediante activación de enzimas detoxificantes ayudan a eliminar mutagénicos y carcinogénicos que favorecen el desarrollo de cáncer. Por lo tanto, se considera importante el consumo de frutos que contengan estas moléculas.

La actividad antioxidante evaluada por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP mostró en promedio 64.13, 82.64 y 76.29 mg EAA 100 g⁻¹ de peso fresco, respectivamente (Cuadro 1). El coeficiente de variación en estas variables fue alto, 37.6 y 43.1% (Cuadro 1). En pulpa de guanábana cultivada en Brasil, Beserra *et al.* (2011) determinaron 91.29 y 16.94 mg EAA 100 g⁻¹ de peso fresco en la actividad antioxidante evaluada por ABTS y DPPH; estos valores son inferiores a los de nuestro estudio. Un análisis de literatura sobre la actividad antioxidante en guanábana muestra que por el método de FRAP hay 70.4 mg EAA 100 g⁻¹ de peso fresco en el cultivar 'Elita' en Colombia (Correa *et al.*, 2012). En nuestro estudio el promedio de actividad antioxidante fue similar, y se alcanzaron hasta 206.9 mg EAA 100 g⁻¹ de peso fresco (Cuadro 1).

El contenido de vitamina C varió entre 6.56 y 23.42 mg AA 100 g⁻¹ (Cuadro 1). En guanábana, Correa *et al.* (2012) encontraron un contenido de vitamina C de 13.6 a 63 mg 100 g⁻¹, y la variación se atribuye a los métodos de evaluación desde titulación con N-bromosuccinamida, voltametría cíclica y cromatografía líquida de alta resolución. Beserra *et al.* (2011) cuantificaron 3.3 mg 100 g⁻¹ de vitamina C en la pulpa de guanábana cultivada en Brasil. La guanábana presenta un contenido bajo de vitamina C, pero la variación determinada en la muestra estudiada indica que se pueden seleccionar materiales con el mayor contenido de vitamina C. El contenido

of acids in respiration (Coelho and Alves, 2011). The average phenolic content was 64.2 mg EAG g⁻¹ fresh weight, although the fruits of a tree had 245.38 mg EAG g⁻¹ fresh weight (Table 1). In Venezuela, Vit *et al.* (2014) found 624.2 to 941.4 mg g⁻¹ fresh weight in soursop pulp and the extraction was carried out with methanol, ethanol and methanol:water (50/50).

In Mexico, Moreno *et al.* (2014) and León *et al.* (2017) reported an extraction of phenols in soursop pulp of 1.56 to 3.56 g 100 g⁻¹ dry weight, and as solvents they used methanol, ethyl acetate, water and chloroform, and the extraction with water had the lowest concentration of phenols. In our study the extraction was with water and fresh pulp.

Soursop is consumed fresh and no organic solvents are used in its process, so water extraction is more representative of the concentration of total phenols. The average flavonoid content was 2.17 mg EQ 100 g⁻¹ fresh weight, with CV of 36.1% (Table 1). Sandoval *et al.* (2014) identified and quantified the flavonoids myricetin (0.12 mg 100g⁻¹), luteolin (0.13 mg 100 g⁻¹) and apigenin (0.019 mg 100 g⁻¹) in soursop pulp grown in Venezuela; the sum of concentrated flavonoids was 0.26 mg 100 g⁻¹ fresh weight, which is 10 times lower than the average reported in our study, which suggests that the soursop materials evaluated have a higher content of these molecules.

According to Robles *et al.* (2010), epidemiological studies conclude that flavonoids are important for cardiovascular health, and that activating detoxifying enzymes help eliminate mutagenic and carcinogenic ones that favor the development of cancer. Therefore, the consumption of fruits containing these molecules is important.

The antioxidant activity evaluated by the DPPH, ABTS and FRAP methods showed an average of 64.13, 82.64 and 76.29 mg EAA 100 g⁻¹ fresh weight, respectively (Table 1). The coefficient of variation in these variables was high, 37.6 and 43.1% (Table 1). In soursop pulp grown in Brazil, Beserra *et al.* (2011) determined 91.29 and 16.94 mg EAA 100 g⁻¹ fresh weight in the antioxidant activity evaluated by ABTS and DPPH; these values are lower than those of our study.

A literature analysis on the antioxidant activity in soursop shows that by using the FRAP method there are 70.4 mg EAA 100 g⁻¹ fresh weight in the cultivar 'Elita' in Colombia (Correa *et al.*, 2012).

de fenoles, flavonoides, vitamina C y actividad antioxidante de la guanábana, es baja comparada con otros frutos tropicales como mango (*Mangifera indica*), ciruela mexicana (*Spondias purpurea*), o guayaba (*Psidium guajava*), pero supera a otros frutos como maracuyá (*Passiflora edulis*), piña (*Ananas comosus*), y chicozapote (*Manilkara zapota*) (Kuskoski *et al.*, 2005; Beserra *et al.*, 2011; Solorzano *et al.* 2015).

Análisis de agrupamiento

El dendograma se dividió en cuatro grupos de acuerdo con el pseudoestadístico t^2 de Hotelling (Figura 1). El grupo 1 se integró por 19 genotipos, 18 de Compostela (TO) y uno de Tepic (VC) (Figura 1). El grupo 2, por 14 genotipos, 12 de Tepic (VC) y dos de San Blas (TC) (Figura 1). El grupo 3, por 15 genotipos, dos de Compostela (TO), seis de San Blas (TC) y siete de Tepic (VC) (Figura 1), y el grupo 4 tuvo cuatro genotipos, tres fueron de Tepic (VC) y uno de San Blas (TC) (Figura 1). Los genotipos de Compostela (TO) se ubicaron en el grupo 1 (90%) y 3 (10%) (Figura 1). Los de San Blas (TC) quedaron

In our study, the average antioxidant activity was similar, and reached up to 206.9 mg EAA 100 g⁻¹ fresh weight (Table 1). The vitamin C content varied between 6.56 and 23.42 mg AA 100 g⁻¹ (Table 1). In soursop, Correa *et al.* (2012) found a vitamin C content of 13.6 to 63 mg 100 g⁻¹, and the variation is attributed to the evaluation methods from titration with N-bromosuccinamide, cyclic voltammetry and a liquid chromatography of high resolution. Beserra *et al.* (2011) quantified 3.3 mg 100 g⁻¹ of vitamin C in soursop pulp grown in Brazil. Soursop has a low vitamin C content, but the variation determined in the sample studied indicates that materials with the highest vitamin C content can be selected.

The contents of phenols, flavonoids, vitamin C and soursop antioxidant activity are low compared to other tropical fruits such as mango (*Mangifera indica*), Mexican plum (*Spondias purpurea*), or guava (*Psidium guajava*), but exceeds other fruits such as passion fruit (*Passiflora edulis*), pineapple (*Ananas comosus*), and chicozapote (*Manilkara zapota*) (Kuskoski *et al.*, 2005; Beserra *et al.*, 2011; Solórzano *et al.* 2015).

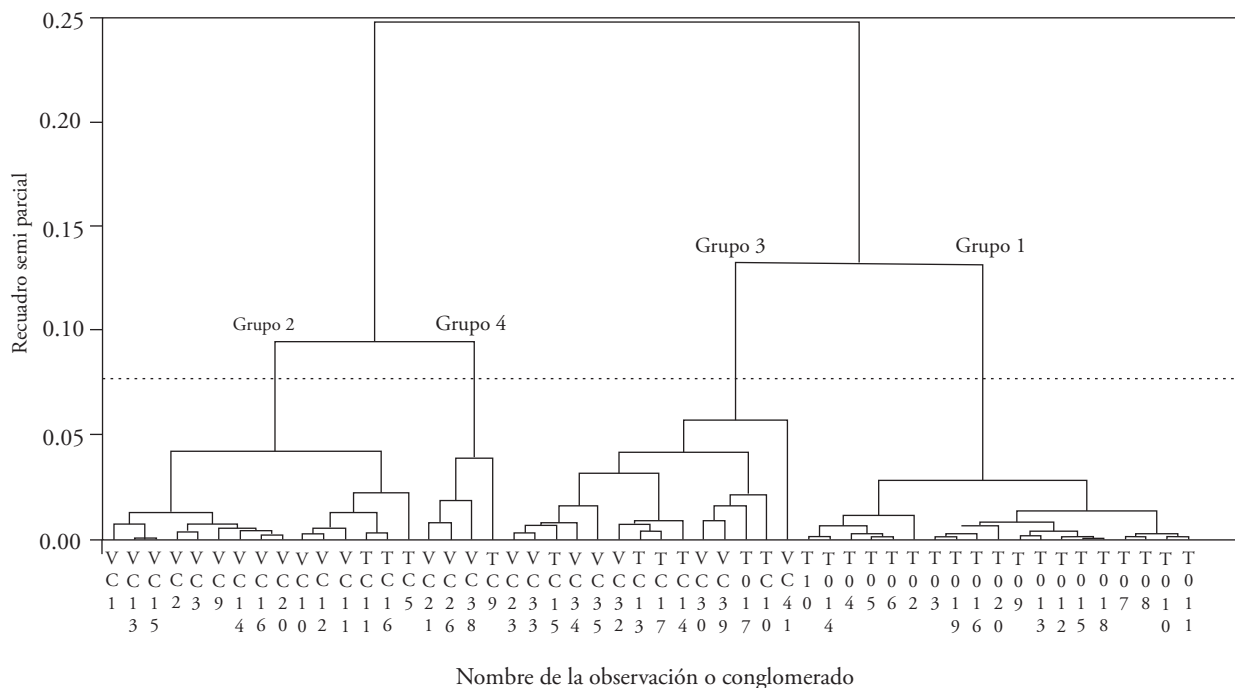


Figura 1. Dendograma de 52 árboles de guanábana (*Annona muricata* L.) construido por el método de Ward a partir de 20 variables del fruto.

Figure 1. Dendrogram of 52 soursop trees (*Annona muricata* L.) built by using Ward's method from 20 fruit variables.

en el grupo 3 (66.67%), 2 (22.22%) y 4 (11.11%) (Figura 1). Los de Tepic (VC) se ubicaron en el grupo 2 (52.17%), 3 (30.43%), 4 (13.04 %) y 1 (4.35%). Estos resultados sugieren un alto flujo genético, el cual se debe probar con modelos genéticos (Slatkin y Barton, 1989). Algunos árboles de Tepic pueden provenir de Compostela o San Blas, pero es difícil que los árboles de Compostela puedan provenir de San Blas y viceversa, debido a que no se agruparon materiales de estas localidades en el análisis clúster (Figura 1).

Análisis discriminante canónico

La varianza total se expresó en tres raíces canónicas. La primera raíz canónica (Can1) explicó 52.54%; la segunda (Can 2), 36.84%, y la tercera (Can 3), 10.62%. Mediante la estructura canónica total se determinó que la Can1 se relaciona con las propiedades nutraceuticas (fenoles totales, DPPH, ABTS, FRAP) (Cuadro 2), la Can 2 con las variables de semilla (peso y número de semillas) (Cuadro 2), y la Can 3 con diámetro polar del fruto y peso de la cáscara (Cuadro 2). Las variables discriminantes, a diferencia de otros métodos basados en eigenanálisis, muestran las variables en las cuales los grupos preestablecidos son diferentes y no en las de mayor variación (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2014). Esto sugiere que la capacidad antioxidante, las variables de semillas, peso de la cáscara y diámetro polar en el fruto sean diferente entre los grupos y serían diferentes a lo reportado por Souza *et al.* (2012) y Cijo *et al.* (2015).

En el grupo 1 los frutos mostraron contenido bajo de fenoles, capacidad antioxidante, número y peso de semillas, y alto diámetro polar del fruto y peso de cáscara; en el grupo 2 los frutos tuvieron contenido bajo de fenoles y capacidad antioxidante, diámetro polar del fruto y peso de cáscara; mayor número y peso de semillas; en el grupo 3 los frutos mostraron contenido superior de fenoles y capacidad antioxidante, menor número, peso de semillas, diámetro polar del fruto y peso de cáscara; en el grupo cuatro los frutos tuvieron más contenido de fenoles y capacidad antioxidante; alto número y peso de semillas, diámetro polar del fruto y peso de cáscara (Cuadro 3).

En nuestro estudio se determinaron grupos de árboles con frutos que aportan buenas características de calidad, alto contenido de antioxidantes y de

Cluster Analysis

The dendrogram was divided into four groups according to the pseudostatistic t^2 of Hotelling (Figure 1). Group 1 was integrated by 19 genotypes, 18 from Compostela (TO) and one from Tepic (VC) (Figure 1). Group 2 comprised 14 genotypes, Tepic 12 (VC) and San Blas two (CT) (Figure 1).

Group 3 comprised 15 genotypes, Compostela 2 (TO), San Blas 6 (TC) and Tepic 7 (VC) (Figure 1), and group 4 had four genotypes, three were from Tepic (VC) and one from San Blas (TC) (Figure 1). Compostela (TO) genotypes were located in group 1 (90%) and 3 (10%) (Figure 1).

Those of San Blas (TC) were in group 3 (66.67%), 2 (22.22%) and 4 (11.11%) (Figure 1). Those of Tepic (VC) were in group 2 (52.17%), 3 (30.43%), 4 (13.04%) and 1 (4.35%). These results suggest a high genetic flow, which should be tested with genetic models (Slatkin and Barton, 1989). Some Tepic trees may come from Compostela or San Blas, but it is unlikely that Compostela trees come from San Blas and vice versa, because materials from these locations were not grouped in the cluster analysis (Figure 1).

Canonical discriminant analysis

Three canonical roots determined the total variance. The first canonical root (Can1) explained 52.54%; the second (Can 2), 36.84%, and the third (Can 3), 10.62%. Through the total canonical structure we found that Can1 is related to nutraceutical properties (total phenols, DPPH, ABTS, FRAP) (Table 2), Can 2 to seed variables (weight and number of seeds) (Table 2), and Can 3 to the polar diameter of the fruit and weight of the shell (Table 2).

The discriminant variables unlike other methods based on eigenanalysis show the variables in which the pre-established groups are different and not in those of greater variation (Núñez-Colín and Escobedo-López, 2014). This suggests that the antioxidant capacity, seed variables, shell weight and polar diameter of the fruit are different between the groups, as well as compared to those reported by Souza *et al.* (2012) and Cijo *et al.* (2015).

In group 1 the fruits showed low phenolic content, antioxidant capacity, number and weight of seeds, and high polar diameter and shell weight; in group 2

Cuadro 3. Promedios de 20 variables de los grupos formados en el análisis clúster de 52 genotipos de guanábana.**Table 3.** Averages of 20 variables of the groups formed in the cluster analysis of 52 soursop genotypes.

Variable	Grupo			
	1	2	3	4
Masa de fruto	782.9382	1266.2232	930.2779	1908.4250
Diámetro polar	15.6601	17.6674	16.4794	23.9688 [§]
Diámetro ecuatorial	10.9320	11.6022	10.8589	12.6875
Diámetro menor	9.5141	10.8965	9.3111	12.1500
Peso de cáscara	146.6026 [§]	166.8563	155.9600	365.0000
Peso de pulpa	459.3947	751.3929	560.6728	1155.0625
Peso de semillas	29.1039 [‡]	96.3464	38.0817 [‡]	140.3188
Número de semillas	55.9895 [‡]	157.2163	73.6111 [‡]	251.8125
SST	14.5409	12.1876	16.0717	14.6588
Acidez titulable	0.6071	0.4360	0.5092	0.5261
Luminosidad	47.5304	42.4566	42.7183	37.6019
Cromaticidad	31.3567	19.3708	21.2739	15.8983
Matiz	93.2575	99.5263	107.8725	94.3459
Fenoles	49.6973	57.1271	90.5250 [†]	66.5147
DPPH	57.4656	51.7768	88.7550 [†]	80.0441 [†]
ABTS	67.1623	70.4941	123.5356 [†]	108.1645 [†]
FRAP	71.1647	54.3205	110.2905 [†]	99.4068 [†]
Flavonoides	2.2338	1.7793	2.5579	2.7855
Azúcares	109.8392	69.6641	107.9093	98.9943
Vitamina C	16.4863	9.2676	11.2796	9.7327

[†]Valores importantes en selección por calidad nutraceutica (alto contenido de fenoles y alta capacidad antioxidante) basados en Can1; [‡]Valores importantes en selección de calidad de fruto (bajos valores de peso y número de semillas) basadas en Can 2; [§]Valores importantes en selección de productividad y calidad de fruto (altos valores en diámetro polar y bajo peso de cáscara) basada en Can3 ♦ [†]Important values in nutraceutical quality selection (high phenolic content and high antioxidant capacity) based on Can1. [‡]Important values in fruit quality selection (low weight and number of seeds) based on Can 2. [§]Important values in productivity and fruit quality selection (high polar diameter values and low shell weight) based on Can3.

actividad antioxidante, con diferentes características en masas y dimensiones del fruto, lo que se puede usar en programas de mejoramiento como lo indica Cruz *et al.* (2002). Estos autores sugieren cruzamiento entre clones que ofrezcan características sobresalientes de calidad, rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, entre otras. En este sentido, los árboles de los grupos 3 y 4 presentaron variables asociadas a factores nutraceuticos y que sirven como el germoplasma que puede mejorar la calidad nutraceutica del cultivo (Sistrunk y Moore, 1988). Mientras que las características que mejor sirven para productividad (diámetro polar del fruto, asociado a Can 3) y mejores características de la fruta (peso y número de semillas) estuvieron presentes en el grupo 1 y 4.

the fruits had low phenolic content and antioxidant capacity, polar diameter and shell weight; and greater number and weight of seeds; in group 3 the fruits showed higher phenol content and antioxidant capacity, lower number and weight of seeds, polar diameter and shell weight; in group four the fruits had more phenolic content and antioxidant capacity; high number and weight of seeds, polar diameter and shell weight (Table 3).

In our study, we determined groups of trees with fruits that provide good quality characteristics, high antioxidant content and antioxidant activity, with different characteristics in fruit masses and dimensions, which can be used in breeding programs, as indicated by Cruz *et al.* (2002).

CONCLUSIONES

Los frutos de los grupos 3 y 4 mostraron las mejores características de calidad y aporte de metabolitos funcionales, que pueden ser utilizados en posteriores programas de mejoramiento genético en guanábana.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al CONACYT por la beca otorgada (39120) para estudios de posgrado. Se agradece también el apoyo del CONACyT mediante el proyecto de Ciencia Básica: CB-2014-01/242708, para la realización de la investigación.

LITERATURA CITADA

- Andrés J. A. 2015. Situación actual de las investigaciones en anonáceas en México. *In: Vidal L., E., N. A. Vidal M., y H. L. Vidal (Comp). Anonáceas. Plantas Antiguas. Estudios Recientes. Parte 2.* Universidad Autónoma Chapingo. Versión electrónica, Chapingo. Texcoco, Estado de México. pp: 27-39.
- AOAC. 1990. Official Methods and Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Helrich, K. (ed.). Arlington, Virginia USA. 1298 p.
- Arvouet-Grand, A., B. Vennat, A. Pourrat and P. Legret. 1994. Standardisation dun extrait de propolis et identification des principaus constituants. *J. Pharmacie Belgique* 49: 462-468.
- Benzie, I. F. and J. J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76.
- Benkeblia, N., and M.A. Emanuel. 2014 Variation of reducing and total sugars, total phenols and chlorophylls in soursop (*Annona muricata*) during three "On Tree" ripening stages. *Acta Horticulturae* 1047: 153-158.
- Beserra, M. M. A., P. H. Machado de S., A. M. Campos A., G. M. do Prado, C. E. de Carvalho M., G. Arraes M., T. L. Gomes de L. 2011. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Res. Int.* 44: 2155-2159.
- Brand, W. W., M. E. Culivier, and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 25-30.
- Castillo, M.L.E. 2011. Introducción al SAS® para Windows. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 295 p.
- Chalak, L., A. Noun, H. Youssef and B. Hamadeh. 2014. Diversity of loquats (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivated in Lebanon as assessed by morphological traits. *Scientia Horticulturae* 167: 1635-144.
- Cijo G., V., D. R. Naveen K., P. K. Suresh and R. Ashok K. 2015. Antioxidant, DNA protective efficacy and HPLC analysis of *Annona muricata* (soursop) extracts. *J. Food Sci Technol.* 52: 2328-2335.
- Correa, G. J., D. Ortiz, J. E. Larrahondo, M. Sánchez M., and H. Pachón. 2012. Actividad antioxidante en guanábana (*Annona muricata* L.) una revisión bibliográfica. *Bol. Latinoam. Caribe Plantas Medicin. Aromát.* 11: 111-126.

These authors suggest crossing between clones that offer outstanding characteristics of quality, yield, resistance to pests and diseases, among others. In this sense, the trees of groups 3 and 4 presented variables associated with nutraceutical factors and that serve as the germplasm that can improve the nutraceutical quality of the crop (Sistrunk and Moore, 1988). While the characteristics that best serve productivity (polar diameter of the fruit, associated with Can 3) and better characteristics of the fruit (weight and number of seeds) were present in groups 1 and 4.

CONCLUSIONS

The fruits of groups 3 and 4 showed the best characteristics of quality and contribution of functional metabolites, which can be used in subsequent programs of soursop genetic improvement.

—End of the English version—



- Coelho de L., M. A., and R. E Alves. 2011. Soursop (*Annona muricata* L.). *In: Yahia, M. E. (ed). Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. Volumen 4: Mangosteen to white sapote.* Woodhead Publishing. pp: 363-391.
- Cruz J. G. C., P. A. Torres L., J. C. Delgado M., V. Domínguez M., D. Martínez P, y O. Franco M. 2002. El guanábano. *Agronomía y usos de frutales tropicales.* Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Estado de México. 177 p.
- Diamanti, J., M. Battino, and B. Mezzetti. 2011. Breeding for fruit nutritional and nutraceutical quality. *In: Jenks, M. A., and P. Bebeli J. (eds). Breeding for Fruit Quality.* Wiley-Blackwell pp: 61-79.
- Evangelista L., S., J. G. Cruz C., S. Pérez G., E. Mercado S., y G. Dávila O. 2003. Producción y calidad frutícola de guanábanos (*Annona muricata* L.) provenientes de semilla de Jutepec, Morelos, México. *Rev. Chapingo S. Hort.* 9: 69-79.
- Franco, M. R. B., and N. S. Janzatti. 2005. Aroma of minor tropical fruits. *Flavour Frag. J.* 20: 358-371.
- Hayward, M. D., and E.L. Breese. 1993. Population, structure and variability. *In: Hayward, M.D., N. O. Bosermark, and L. Romayosa (eds). Plant Breeding: Principles and Prospects.* Chapman and Hall, London. pp: 7-29.
- Hernández, L. M. F., R. Gómez, J. y J. Andrés A. 2013. Importancia, plagas insectiles y enfermedades fungosas del cultivo del guanábano. *INIFAP. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.* 87 p.
- Hotelling, H. 1951. A generalized *t* test and measure of multivariate dispersion. *In: Proceedings of the 2nd Berkeley*

- Symposium of Mathematical Statistic and Probability, University of California Press, Berkeley, California, USA. Pp: 23-41.
- Jagota, S., and H. Dani. 1982. A new colorimetric technique for estimation of vitamin C using folin phenol reagent. *Anal. Biochem.* 128: 178-192.
- Jiménez, V. M., M. Gruschwitz, R. M. Schweingert, R. Carle, and P. Esquivel. 2014. Identification of phenolic compounds in soursop (*Annona muricata*) pulp by high-performance liquid chromatography with diode array and electrospray ionization mass spectrometric detection. *Food Res. Int.* 65: 42-46.
- Jiménez Z., J. O., R. Balois M., I. Alia T., P. Juárez L., M. T. Sumaya M., y J. E. Bello L. 2016. Caracterización de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Rev. Mex. Ciencias Agric.* 7: 1261-1270.
- Jiménez Z., J. O., R. Balois M., I. Alia T., L. M. Sánchez H., E. I. J.R., J. E. Bello L., J. D. García P., and P. Juárez L. 2017. Cold Storage of two selections of soursop (*Annona muricata* L.) in Nayarit, Mexico. *J. Food Quality* 2017: <https://doi.org/10.1155/2017/4517469>
- Johnson, D. E. 1998. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. International Thomson Editores, Ciudad de México, México. 566 p.
- Kuskoski E. M., A. G. Asuero, A. M. Troncoso, J. Mancini F., and R. Fett. 2005. Aplicación de métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 25: 726-732.
- León, A. E. F., E. N. Obledo V., M. de los A. Vivar V., S. G. Sáyo A., and E. Montalvo G. 2017. Evaluation of emerging methods on the polyphenol content, antioxidant capacity and qualitative presence of acetogenins in soursop pulp (*Annona muricata* L.). *Rev. Bras. Frutic.* 39: 1-8.
- Márquez, C. C. J., J. R. Cartagena V., and G. A. Correa L. 2013. Determination of soursop (*Annona muricata* cv. Elita) fruit volatiles during ripening by electronic nose and gas chromatography coupled to mass spectroscopy. *Rev. Fac. Nal. Agric. Medellín* 66:7117-7128.
- Mehmood, A., M. Jafar J., I. A. Khan, S. Ahmad, R. Ahmad, S. Luo, and N.M. Ahmad. 2014. Genetic diversity of Pakistani guava (*Psidium guajava* L.) germplasm and its implications for conservation and breeding. *Scientia Horticulturae* 172:221-232.
- Moreno H., C. L., S. G. Sáyo A., H. S. García G., M. Mata M. de O., and E. Montalvo G. Effect of application of methylcyclopropene and wax emulsions on proximate analysis and some antioxidants of soursop (*Annona muricata* L.). 2014. *Sci. World J.* <http://dx.doi.org/10.1155/2014/896853>. 7 p.
- Núñez-Colín C. A., y D. Escobedo-López, 2014. Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. *Acta Agríc. Pec.* 1: 1-6.
- Ortiz L. J. A., L. M. Hernández F., M. A. Manzanilla R., and J. Molina O. 2015. Caracterización morfométrica de germoplasma de guanábana (*Annona muricata* L.) cultivadas en Tecmán, Colima, México. *In: Anonaceas. Plantas Antiguas. Estudios recientes. Parte 2.* Vidal L., E., Vidal M. N. A., y L. Vidal H. (comp). Universidad Autónoma Chapingo. Versión electrónica, Chapingo. Texcoco, Estado de México. pp: 123-131.
- Paull, R.E., J.C. Deputy, and N.J. Chen. 1983. Changes in organic acids, sugars and headspace volatiles during fruit ripening of soursop (*Annona muricata* L.) *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108: 931-934.
- Paull, E. R., and O. Duarte. 2012. *Tropical Fruits. V. 2.* CABI. MA, USA. 371 p.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Med.* 26: 1231-1337.
- Robles, S.A.E., A. V. Bolaños V., G. A. González A., and L. A. de la Rosa. 2010. Flavonoids and their relation to human health. *In: de la Rosa, L. A., E. A. Alvarez P., and G. A. González A. (eds). Fruit and Vegetables Phytochemicals. Chemistry, Nutritional Value and Stability.* Wiley-Blackwell. pp: 155-175.
- Rosas G. X., y E. N. Becerra L. 2012. Manual de producción de guanábana (*Annona muricata* L.). Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental Cotaxtla. Folleto Técnico Núm. 67. 89 p.
- Souza, V. R. de, P. A. P. Pereira, F. Queiroz, S. V. Borges, and J. de D. S. Carneiro. 2012. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian Fruits. *Food Chem.* 134: 381-386.
- Sandoval L., G. Ertiene, E. Pérez-Pérez, M. Fuentemayor, J. Raga, y N. Silva. 2014. Determinación de flavonoides en frutos de *Annona muricata* L. provenientes de plantas diferentes, empleando cromatografía líquida de alta resolución. *Rev. Fac. Agron. LUZ Suplemento 1:* 785-800.
- Sacramento do K., C., J. C. Faria, F. L. da Cruz., W. de Sousa B., J. W. Gaspar. and J. B. V. Leite. 2003. Caracterizacáo física e química de frutos de tres tipos de graviolera (*Annona muricata* L.). *Rev. Bras. Frutic.* 25: 329-331.
- SAS Institute (Statistical Analysis System Institute). 1999. SAS OnlineDoc®, Version 8. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- SIAP (Servicio de Información Agrícola y Pesquera). 2017. Cierre de la Producción Agrícola. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. (Consulta: abril 2017).
- Singleton, V.L., R. Orthofer, and R. M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Method. Enzymol.* 299: 152-178.
- Sistrunk, W. A., and J. N. Moore, 1988. Calidad. p. 367-393. *In: Moore, J. N. and J. Janick, (eds). Métodos Genotécnicos en Frutales.* Mosqueda Vázquez, R. (trad). AGT Editor, Ciudad de México, México.
- Slatkin M., and N. H. Barton. 1989. A comparison of three indirect methods for estimating average levels of gene Flow. *Evolution* 43: 1349-1368.
- Solís F, J. A., C. Amador H., M. R. Hernández M., y M. C. Durán de B. 2010. Caracterización fisicoquímica y comportamiento termico del aceite de "almendra" de guanábana (*Annona muricata*). *Grasas y Aceites* 61: 58-66.
- Solorzano, M., S., I. Alia T., F. Rivera C., V. López M., L. J. Pérez F., C. Pelayo Z., D. Guillén S., F. D. de León S., and Y. I. Maldonado A. 2015. Quality attributes and functional compounds of Mexican plums (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits* 70: 261-270.

- Souza, R.V. de, P. A. P. Pereira, F. Queiroz, S. V. Borges, and J. de D. S. Carneiro. 2012. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. *Food Chem.* 134: 381-386.
- Vallejo C. B., R. Reyes D., G. A. González A., A. Hernández M., y A. F. González C. 2014. Los alimentos e ingredientes funcionales. *In*: González A. G. A., A. F. González C., C. Vallejo B., E. Álvarez P., y H. S. García (eds). *Los Alimentos Funcionales: Un Nuevo Reto para la Industria de Alimentos*. CIAD-AGT Editor. pp: 38-64.
- Vit P., B. Santiago, y E. M. Pérez P. 2014. Composición química y actividad antioxidante de pulpa, hoja y semilla de guanábana (*Annona muricata* L.). *Interciencia* 39: 350-353.
- Ward, J. H. Jr. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. American Stat. Assoc.* 58: 236-244
- Whitam, F. F., D. F. Blades, and R. M. Devlin. 1971. *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245 p.

