e-ISSN: 2007-4034 / ISSN print: 1027-152X

Scientific article https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2024.11.015

Morphological and physicochemical characterization of custard apple (*Annona reticulata* L.) fruits in Tepic, Nayarit

Caracterización morfológica y fisicoquímica de frutos de anona (*Annona reticulata* L.) en Tepic, Nayarit

Flavia Angélica Pérez-Flores[1]; José Orlando Jiménez-Zurita[2*]; Pedro Ulises Bautista-Rosales[3]; Rosendo Balois-Morales[2]; Graciela Guadalupe López-Guzman[2]

[1]Universidad Autónoma de Nayarit, Programa de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, C. P. 63780, México.

[2]Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, C. P. 63780, México.

[3]Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad de Tecnología de Alimentos-Secretaría de Investigación y Posgrado. Ciudad de la Cultura s/n, Tepic, Nayarit, C. P. 63000, México.

*Corresponding author: jose-jimenez@uan.edu.mx

Abstract

In Mexico, custard apple (*Annona reticulata* L.) fruits are consumed fresh; however, they are not as well-known as soursop (*Annona muricata* L.), cherimoya (*Annona cherimola* Mill.), and sugar apple (*Annona squamosa* L.). This situation is largely due to the limited information available regarding their properties and morphology. In Nayarit, custard apple production occurs in areas without agronomic management. The objective of this research was to evaluate the morphology and physicochemical characteristics of custard apple fruits from four localities in the municipality of Tepic, Nayarit, Mexico: Jicote, Trapichillo, 14 de Marzo, and Tepic. The fruits showed a variety of shapes, including cordiform, irregular, and ovoid forms, along with either smooth or embossed reticulation and areoles of diverse morphologies, such as drop-shaped, rhomboid, pentagonal, or hexagonal. The skin color also varied, ranging from dull green with yellow-orange tones, to dull brown with orange-red or yellow hues, and even dull purple. The fruits from Jicote and Tepic were the largest and heaviest, while those from Jicote and Trapichillo exhibited the greatest firmness. Fruits from Trapichillo had the highest acidity, whereas those from Jicote and 14 de Marzo had the greatest total soluble solids content. Overall, the custard apple fruits from Tepic showed a wide range of morphological and physicochemical traits, suggesting potential economic value for both fresh market consumption and applications in the food industry for nutraceutical product development, as well as in the pharmaceutical sector for the extraction of phytochemical compounds.

Keywords: *Annonaceae*, morphology, physicochemical, variability.

Resumen

En México, los frutos de anona (*Annona reticulata* L.) se consumen frescos; sin embargo, no son tan conocidos como la guanábana (*Annona muricata* L.), la chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) y el saramuyo (*Annona squamosa* L.). Esta situación se debe, en gran medida, a la escasa información disponible sobre sus propiedades y morfología. En el estado de Nayarit, la producción de anona se encuentra en áreas sin manejo agronómico. El objetivo de esta investigación fue evaluar la morfología y las características fisicoquímicas de frutos de anona provenientes de cuatro localidades del municipio de Tepic, Nayarit, México: Jicote, Trapichillo, 14 de Marzo y Tepic. Los frutos presentaron formas cordiformes, irregulares y ovoides, con reticulación lisa o impresa y areolas de morfología variable (gota, romboide, pentagonal o hexagonal). El color de la cáscara fue variable: verde opaco con tonalidades amarillo-naranja, café opaco con tonalidades naranja-roja, café opaco con tonalidades amarillas y morado opaco. Los frutos de mayor peso y tamaño fueron los provinieron de Jicote y Tepic; los de mayor firmeza, de Jicote y Trapichillo; los de mayor acidez, de Trapichillo, y los de mayor contenido de sólidos solubles totales, de Jicote y 14 de Marzo. Los frutos de anona de Tepic presentaron diversas características morfológicas y fisicoquímicas, las cuales podrían tener importancia económica tanto para el consumo del fruto en fresco, como para la industria alimentaria en la elaboración de productos nutracéuticos y en la industria farmacéutica para la extracción de compuestos fitoquímicos.

Palabras clave: *Annonaceae*, morfología, fisicoquímicos, variabilidad.

Please cite this article as follows (APA 7): Pérez-Flores, F. A., Jiménez-Zurita, J. O., Bautista-Rosales, P. U., Balois-Morales, R., & López-Guzman, G. G. (2025). Morphological and physicochemical characterization of custard apple (*Annona reticulata* L.) fruits in Tepic, Nayarit. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *31*, e24015. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2024.11.015

Revista Chapingo Serie Horticultura

Received: September 19, 2024 | **Accepted:** April 3, 2025 | **Published online:** May 23, 2025

https://revistas.chapingo.mx/horticultura/

Introduction

The *Annonaceae* family is widely distributed in tropical and subtropical regions (Chidinma et al., 2024). Within this family, the genus *Annona* is the most representative, including notable species such as soursop (*Annona muricata* L.), cherimoya (*Annona cherimola* Mill.), sugar apple (*Annona squamosa* L.), and custard apple (*Annona reticulata* L.). The custard apple tree is commonly found in the wild, in backyard orchards, and along rural roadsides (Andrés & Segura-Ledesma, 2014). Various morphological studies conducted on *Annonaceae* species have helped identify both quantitative and qualitative traits useful for characterizing materials employed in genetic improvement programs, aiming to select those with the highest productive potential and fruit quality (Castañeda-Garzón et al., 2016). However, despite its potential, *A. reticulata* L. remains an underutilized and undervalued species, especially when compared to soursop, cherimoya, and sugar apple, which have achieved a greater degree of domestication and commercialization (Hernández-Fuentes et al., 2016).

Regarding the fruit morphology of custard apples, Handique et al. (2022) reported the existence of fruits with round, oval, and cordiform shapes, and exocarp colors ranging from reddish to green-yellow and red-yellow. They also documented fruit weights ranging from 145 to 443.3 g, lengths between 6.1 and 8.9 cm, and diameters from 5.8 to 8.6 cm. Similarly, Vidal-Hernández et al. (2015) observed red-colored fruits with white pulp, as well as variants with red or pink pulp and exocarp, with weights between 356 and 450 g, lengths from 9.0 to 12.9 cm, and diameters ranging from 8.5 to 9.7 cm.

Physicochemical analyses of custard apple pulp have revealed a high content of dietary fiber, vitamins A and C, calcium, magnesium, and iron, sometimes in higher concentrations than those found in soursop (Ananthavalli & Karpagam, 2023; Panda et al., 2023). Moo-Huchin et al. (2014) reported vitamin C levels of 23 mg·100 g^{-1} of fresh weight in custard apple pulp, as well as the presence of bioactive compounds such as anthocyanins, phenolic compounds, flavonoids, and carotenoids.

Consumer interest in foods with high nutritional value has grown significantly (Moreno et al., 2014), prompting the development of preservation and processing methods that maintain the physicochemical and sensory properties of raw materials to produce high-quality food products (Pérez-Flores et al., 2023). In this regard, Senadeera et al. (2018) incorporated custard apple pulp into yogurt, successfully enhancing its antioxidant capacity. These findings support the potential of *Annona reticulata* not only as a fresh-consumption fruit but also as a valuable ingredient

Introducción

La familia *Annonaceae* se distribuye ampliamente en regiones de clima tropical y subtropical (Chidinma et al., 2024). Dentro de esta familia, el género *Annona* es el más representativo, y destacan especies como la guanábana (*Annona muricata* L.), la chirimoya (*Annona cherimola* M.), el saramuyo (*Annona squamosa* L.) y la anona (*Annona reticulata* L.). El árbol de anona se encuentra de manera silvestre, en huertos de traspatio y a las orillas de los caminos rurales (Andrés, & Segura-Ledesma, 2014). Diversos estudios morfológicos realizados en especies de *Annonaceae* han permitido identificar atributos cuantitativos y cualitativos, útiles para caracterizar materiales empleados en programas de mejoramiento genético, con el propósito de seleccionar aquellos con mayor potencial productivo y calidad de los frutos (Castañeda-Garzón et al., 2016). Sin embargo, a pesar de su potencial, la anona (*A. reticulata* L.) continúa siendo una especie subutilizada y poco valorada, en contraste con la guanábana, la chirimoya y el saramuyo, las cuales han alcanzado un grado de domesticación y comercialización más avanzado (Hernández-Fuentes et al., 2016).

Con respecto a la morfología del fruto de anona, Handique et al. (2022) reportaron la existencia de frutos con formas redondas, ovaladas y cordiformes, con colores de exocarpo rojizos, verde-amarillo y rojo-amarillo. Asimismo, documentaron pesos de entre 145 y 443.3 g, longitudes de 6.1 a 8.9 cm y diámetros de 5.8 a 8.6 cm. Por su parte, Vidal-Hernández et al. (2015) observaron frutos de color rojo con pulpa blanca, así como variantes con pulpa y exocarpo rojos o rosas, con pesos de 356 a 450 g, longitudes de 9.0 a 12.9 cm y diámetros de 8.5 a 9.7 cm.

Los análisis fisicoquímicos realizados en la pulpa de anona han revelado un alto contenido de fibra dietética, vitamina A y C, calcio, magnesio y hierro, incluso en concentraciones mayores que en guanábana (Ananthavalli & Karpagam, 2023; Panda et al., 2023). Moo-Huchin et al. (2014) reportaron valores de vitamina C de 23 mg·100 g^{-1} de peso fresco en pulpa de anona, además de compuestos bioactivos como antocianinas, compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides.

El interés de los consumidores por alimentos con alto valor nutricional ha crecido de manera importante (Moreno et al., 2014), lo cual ha motivado el desarrollo de procesos de conservación y transformación de materias primas que conserven las características fisicoquímicas y sensoriales para la obtención de productos alimenticios de alta calidad (Pérez-Flores et al., 2023). Al respecto, Senadeera et al. (2018) adicionaron pulpa de anona en yogures y lograron aumentar su capacidad antioxidante. Estos antecedentes respaldan el potencial de la anona no solo como fruto de consumo directo, sino también como

in the food and pharmaceutical industries, due to its nutraceutical potential to contribute to consumer health and well-being.

Based on the above, the aim of this study was to assess the morphological and physicochemical characteristics of *Annona reticulata* fruits collected from four localities in the municipality of Tepic, Nayarit, Mexico. The information collected will contribute to the scientific documentation of this species' traits and may ultimately support the development of a germplasm bank focused on the conservation and utilization of fruits with specific characteristics, depending on their intended application, whether for fresh consumption, food industry processing, or pharmaceutical use.

Materials and methods

Plant material and experimental design

In April 2021, custard apple fruits were collected from wild trees (Table 1). Trees were selected based on their local representation, prioritizing those with higher abundance and commercial importance in the municipality of Tepic, Nayarit. From each selected tree, physiologically mature fruits were harvested manually using visual criteria focused on optimal size and quality. The fruits were then transported in plastic crates to the Food Technology Unit at the Universidad Autónoma de Nayarit, where they were stored at room temperature (28 ± 2 °C and 95 % relative humidity) until they reached ripeness suitable for consumption (from 4 to 7 days). The experimental design employed a completely randomized model, with individual fruits serving as the experimental units and three replications for each variable.

Morphological and physicochemical characterization of fruits

The morphological characterization of the fruits was carried out following the methodology used by Bioversity International and CHERLA (2008) for

ingrediente en la industria alimentaria y farmacéutica, dada su capacidad nutracéutica para contribuir al bienestar y la salud de los consumidores.

Considerando lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar las características morfológicas y fisicoquímicas de frutos de anona provenientes de cuatro localidades del municipio de Tepic, Nayarit, México. La información generada permitirá documentar científicamente los atributos de esta especie y, a futuro, podría facilitar la conformación de un banco de germoplasma orientado a la conservación y aprovechamiento de frutos con características específicas, dependiendo de su destino: consumo en fresco industria alimentaria o farmacéutica.

Materiales y métodos

Material vegetal y diseño experimental

En abril de 2021 se recolectaron frutos de anona de árboles silvestres (Cuadro 1). Los árboles se seleccionaron con base en su representatividad local, considerando aquellos con mayor presencia y relevancia en la comercialización dentro del municipio de Tepic, Nayarit. De cada árbol, se recolectaron manualmente frutos en estado de madurez fisiológica, mediante una selección visual basada en criterios de calidad y tamaño óptimos. Posteriormente, los frutos se trasladaron en cajas de plástico a la Unidad de Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nayarit y se almacenaron a temperatura ambiente (28 ± 2 °C y 95 % de humedad relativa) hasta que alcanzaron la madurez de consumo (de 4 a 7 días). El diseño experimental fue completamente al azar y la unidad experimental fue un fruto, con tres repeticiones para cada variable.

Caracterización morfológica y fisicoquímica de los frutos

La caracterización morfológica de los frutos se realizó de acuerdo con la metodología empleada por Bioversity International y CHERLA (2008) para chirimoya. Se

Table 1. Sampling sites and sample size of custard apple collections in Tepic, Nayarit, Mexico.
Cuadro 1. Localidades de muestreo y tamaño de muestra de las recolectas de anona en Tepic, Nayarit, México.

Site / Localidad	Coordinates / Localización	Number of trees / Número de árboles	Number of fruits / Número de fruto
Jicote	21° 43' 30.04'' N, 105° 03' 31.4'' W (198 m a. s. l.)/ 21° 43' 30.04'' N, 105° 03' 31.4'' O (198 m s. n. m.)	6	38
Trapichillo	21° 34' 24'' N, 104° 59' 2'' W (674 m a. s. l.)/ 21° 34' 24'' N, 104° 59' 2'' O (674 m s. n. m.)	5	27
14 de Marzo	21° 44' 9.12'' N, 105° 4' 26.96'' W (125 m a. s. l.)/ 21° 44' 9.12'' N, 105° 4' 26.96'' O (125 m s. n. m.)	5	21
Tepic	21° 30' 34.2'' N, 104° 53.741'' W (915 m a. s. l.)/ 21° 30' 34.2'' N, 104° 53.741'' O (915 m s. n. m.)	3	18

cherimoya. The shape of the fruits, the shape of the areoles, and the type of reticulation were described. Length (mm) and diameter (mm) were measured with a digital caliper (420-150 mm, Caliper, China), while the weight of each fruit (g) was determined using a digital balance (Scout-pro, OHAUS, USA). The color components of the exocarp of physiologically mature fruits were analyzed using a colorimeter (CR-400, Konica Minolta, Japan): brightness or luminosity (L) (0 = pure black, 100 = pure white), hue angle (h) (0 = purple-red, 90 = yellow), and chromaticity (C) (intensity ranging from gray to pure chromatic) (Solorzano-Morán et al., 2015).

At the stage of consumption maturity, fruit firmness (N) was determined using a texture analyzer (CT3-50kg, Brookfield, USA). The fruits were then sliced to separate and weigh the exocarp (g), mesocarp (g), and fresh seeds (g); the number of seeds per fruit was also recorded. The pulp was analyzed for total soluble solids (TSS; °Brix), pH (Jiménez-Zurita et al., 2016), and titratable acidity (TA; % citric acid) following the guidelines of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005). Finally, the fruit's maturity index (MI) was calculated based on the ratio of TSS to TA (TSS/TA).

Statistical analysis

The data was analyzed using a one-way analysis of variance based on locality, followed by Tukey's test for mean comparisons ($P \leq 0.05$). Statistical analysis was performed using SAS® software version 9.0 (SAS Institute Inc., 2000).

Results and discussion

Morphological evaluation

Fruit and areole shape, type of reticulation, and exocarp color

The fruits from all four locations had three shapes: cordiform, oval, and irregular (Figure 1a, 1b, and 1c, respectively). These results are consistent with those reported by Pathak and Zaman (2014), who noted oval, globose, irregular, heart-shaped, and nearly round fruit forms, similar to those observed in *Annona squamosa* by Hasan et al. (2024). Differences in fruit shape may stem from pollination and fertilization challenges, which are influenced by flower morphology, the type of pollinators, and genetic factors (Jiménez-Zurita et al., 2016; Zhao et al., 2021). Fruit development can be shaped by the species' adaptation to biotic and abiotic stress factors in the environment (Morales-Santos & Sánchez-Hernández, 2022), as well as by alterations in phytohormones, which have a direct impact on the fruit's shape, structure, and overall quality (Yahia, 2019).

describió la forma de los frutos, la forma de las areolas y el tipo de reticulación. La longitud (mm) y el diámetro (mm) se midieron con un vernier digital (420-150 mm, Caliper, China.), mientras que el peso de cada fruto (g) se determinó con una balanza digital (Scout-pro, OHAUS, EUA). Además, se analizaron los componentes de color del exocarpo de frutos en madurez fisiológica mediante un colorímetro (CR-400, Konica Minolta, Japón): brillantez o luminosidad (L) (0 = negro puro, 100 = blanco puro), ángulo de matiz (h) (0 = rojo purpura, 90 = amarillo) y cromaticidad (C) (intensidad desde el gris hasta el cromático puro) (Solorzano-Morán et al., 2015).

En madurez de consumo, se determinó la firmeza (N) de los frutos con un texturómetro (CT3-50kg, Brookfield, EUA). Posteriormente, los frutos se seccionaron para separar y pesar el exocarpo (g), el mesocarpio (g) y las semillas frescas (g); además, se contabilizó el número de semillas por fruto. A la pulpa se le determinaron los sólidos solubles totales (SST; °Brix), el pH (Jiménez-Zurita et al., 2016) y la acidez titulable (AT; % de ácido cítrico) de acuerdo con la metodología de la *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2005). Finalmente, con base en la relación entre SST y AT (SST/AT), se calculó el índice de madurez (IM) del fruto.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza de un factor (localidad), seguido de una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Los datos se analizaron en el programa estadístico SAS® versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2000).

Resultados y discusión

Evaluación morfológica

Forma del fruto y de las areolas, tipo de reticulación y color del exocarpo

Los frutos de las cuatro localidades presentaron tres formas: cordiforme, oval e irregular (Figura 1a, 1b y 1c, respectivamente). Estos resultados coinciden con lo reportado por Pathak y Zaman (2014), quienes observaron frutos con formas ovalada, globosa, irregular, simétrica en forma de corazón y casi redonda, similares a las registradas en saramuyo por Hasan et al. (2024). Las diferencias en la forma de los frutos se pueden deber a problemas de polinización y fecundación, debido a la morfología de la flor, al tipo de polinizadores y a factores genéticos (Jiménez-Zurita et al., 2016; Zhao et al., 2021). Además, el desarrollo del fruto puede estar influenciado por la adaptación de las especies vegetales al estrés biótico y abiótico que las rodean (Morales-Santos & Sánchez-Hernández, 2022), así como a los cambios en

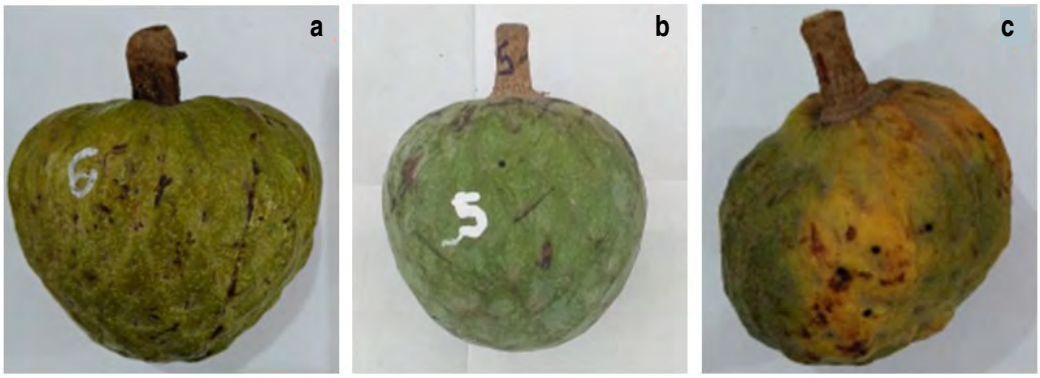


Figure 1. Fruit shapes of custard apple (*Annona reticulata* L.) from four sites in Tepic, Nayarit, Mexico: a) cordiform, b) oval, and c) irregular.

Figura 1. Forma de frutos de anona (*Annona reticulata* L.) provenientes de cuatro localidades de Tepic, Nayarit, México: a) cordiforme, b) ovalada y c) irregular.

Regarding the areoles, four main shapes were identified in all sites: water drop or spheroidal, rhomboidal, pentagonal, and hexagonal (Figure 2). As for the type of reticulation, the predominant form was imprinted or marked (Figure 3b); however, in the fruits from Jicote, smooth reticulation was observed, with areoles shaped like water drops and rhomboids (Figure 3a). Cruz and Deras (2000) described smooth exocarps and non-prominent carpels in custard apple fruits, while Bioversity International and CHERLA (2008) observed that reticulation in cherimoya could be smooth, imprinted, umbonate, mamillate, or tuberculate. In this study, only the smooth and imprinted forms were observed, which agrees with the findings of Andrés and Andrés-Hernández (2011), who noted that the other variants are not characteristic of *A. reticulata* L.

The color change in the exocarp during ripening is attributed to chlorophyll degradation, associated with the synthesis of carotenoids (Benito-Bautista et al., 2015). In *Annona muricata*, this transition involves a shift from green to green-yellow as the fruit reaches consumption maturity, which is linked to the predominant presence of carotenoids following chlorophyll degradation (Badrie & Schauss, 2010). Additionally, color variations can be connected to the phenotypic plasticity of plant species, a key trait for adaptation and evolution in response to environmental conditions (Hernández-Verdugo et al., 2015).

The exocarps of the fruits from Trapichillo, 14 de Marzo, and Tepic were dull green (h = 106.90, C = 27.39 and L = 46.51) with yellow-orange hues (Figures 4a and 4b); however, in 14 de Marzo, some fruits were brown (h = 84.34, C = 27.10 and L = 47.04) with orange-red tones (Figure 4c). Meanwhile, the fruits from Jicote were brown (h = 95.51, C = 27.21 and L = 55.34) with yellow shades (Figure 4d), and some were purple (h = 84.34, C = 27.10 and L = 47.07) (Figure 2e).

las fitohormonas, las cuales inciden directamente en la forma, estructura y calidad de los frutos (Yahia, 2019).

En cuanto a las areolas, se identificaron cuatro formas principales en todas las localidades: gota de agua o esferoide, romboidal, pentagonal y hexagonal (Figura 2). Respecto al tipo de retícula, predominó la forma impresa o marcada (Figura 3b); sin embargo, en los frutos provenientes de la localidad de Jicote se observó reticulación lisa, con areolas con forma de gota de agua y romboidal (Figura 3a). Cruz y Deras (2000) describieron exocarpos lisos y carpelos no prominentes en el fruto de anona, mientras que Bioversity International y CHERLA (2008) observaron que la reticulación puede ser de forma lisa, impresa, umbunata, mamillata y tuberculata en chirimoya. En este estudio, solo se observaron las formas lisa e impresa, lo cual es consistente con lo señalado por Andrés y Andrés-Hernández (2011), quienes indican que las otras variantes no son características de *A reticulata* L.

El cambio de color del exocarpo durante la maduración se atribuye a la degradación de la clorofila, asociada a la síntesis de carotenoides (Benito-Bautista et al. 2015). En guanábana, este cambio implica la transición de un color verde a verde-amarillo conforme el fruto alcanza su madurez de consumo, lo cual se asocia a la presencia predominante de carotenoides tras la degradación de la clorofila (Badrie & Schauss, 2010). Además, las variaciones en la coloración también pueden estar vinculadas con la plasticidad fenotípica de las especies vegetales, una característica fundamental para su adaptación y evolución en respuesta a las condiciones ambientales (Hernández-Verdugo et al., 2015).

El exocarpo de los frutos procedentes de Trapichillo, 14 de Marzo y Tepic era color verde opaco (h = 106.90, C = 27.39 y L = 46.51) con tonalidades amarillo-naranja

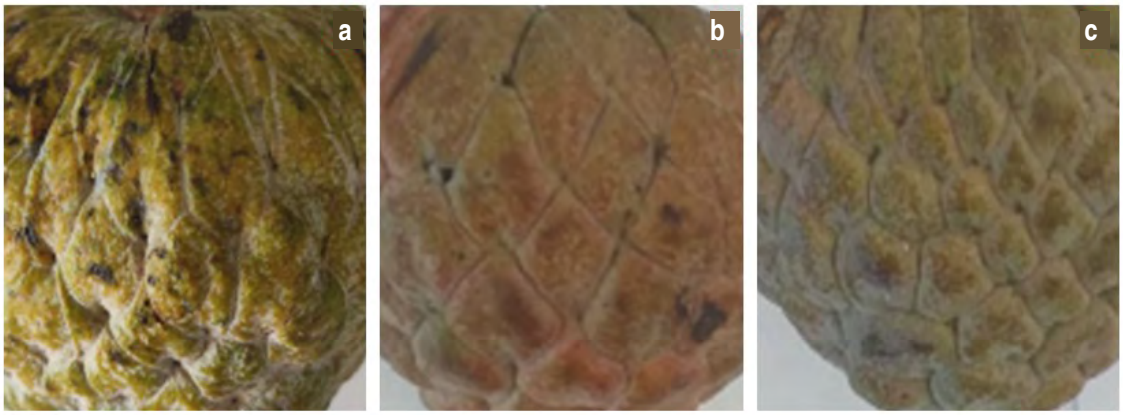


Figure 2. Areole shapes of custard apple (*Annona reticulata* L.) fruits from four sites in Tepic, Nayarit, Mexico: a) water Drop, b) rhomboidal, and c) pentagonal/hexagonal.

Figura 2. Forma de areolas de frutos de anona (*Annona reticulata* L.) provenientes de cuatro localidades de Tepic, Nayarit, México: a) gota de agua, b) romboidal y c) pentagonal/hexagonal.



Figure 3. Type of reticulation in custard apple (*Annona reticulata* L.) fruits from four sites in Tepic, Nayarit, Mexico: a) smooth and b) imprinted.

Figura 3. Tipo de reticulación de frutos de anona (*Annona reticulata* L.) provenientes de cuatro localidades de Tepic, Nayarit, México: a) lisa y b) impresa.

These findings are consistent with those reported by Vidal-Hernández et al. (2015), who evaluated custard apple fruits and identified four exocarp colors: red, yellow, purple, and pink, attributing these variations to genetic differences. The green exocarp with yellow hues and purple coloration matches the reports by Handique et al. (2022) and Vidal-Hernández et al. (2015). Yellow and orange fruits have also been documented (Cruz & Deras, 2000), as well as red fruits with pink tones (Hasan et al., 2024).

(Figura 4a y 4b); sin embargo, en la localidad de 14 de Marzo también se observaron frutos color café (h = 84.34, C = 27.10 y L = 47.04) con tonalidades naranja-roja (Figura 4c). Por su parte, los frutos de la localidad de Jicote fueron color café (h = 95.51, C = 27.21 y L = 55.34) con matices amarillos (Figura 4d), y color morado (h = 84.34, C = 27.10 y L = 47.07) (Figura 2e).

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Vidal-Hernández et al. (2015), quienes evaluaron

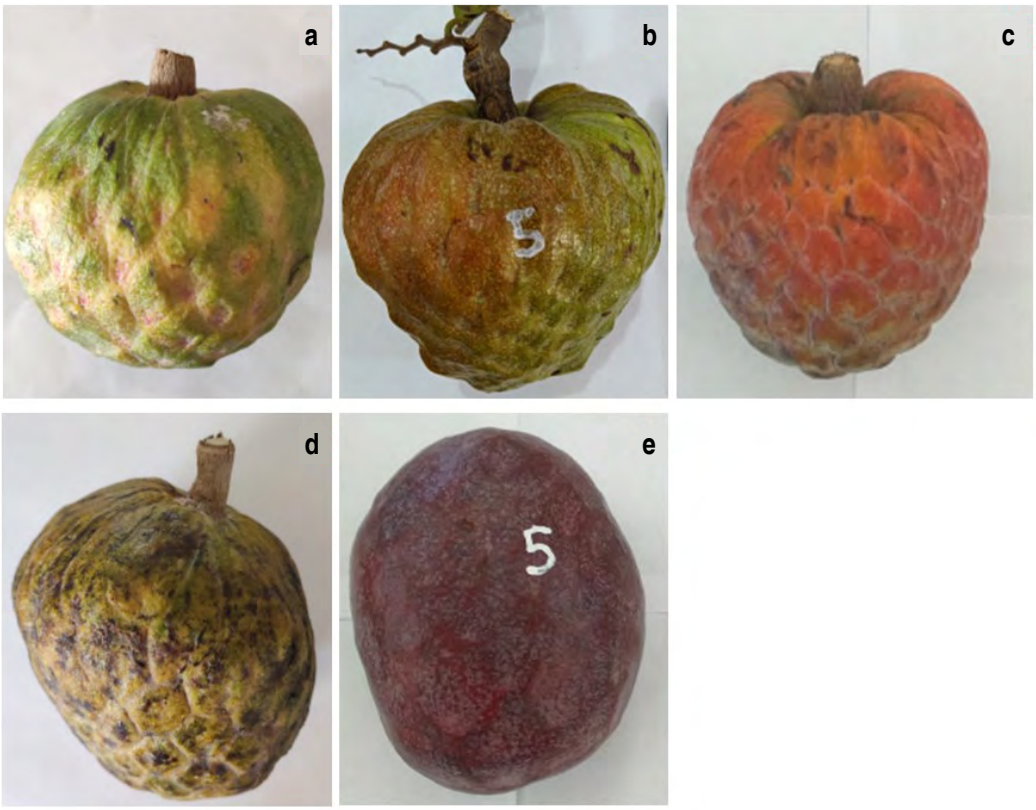


Figure 4. Exocarp color in custard apple (*Annona reticulata* L.) fruits from four sites in Tepic, Nayarit, Mexico. Green with yellow-orange hues (a and b), brown with orange-red hues (c), brown with yellow hue (d), and purple (e) hues.

Figura 4. Color del exocarpo en frutos de anona (*Annona reticulata* L.) provenientes de cuatro localidades de Tepic, Nayarit, México. Verde con tonalidades amarillo-naranja (a y b), café con tonalidades naranja-roja (c), café con tonalidades amarillo (d) y morado (e).

Weight, length, diameter, and firmness

In this study, the fruits from the Jicote and Tepic had the highest weights ($P \leq 0.05$), with 367 and 369 g, respectively. In contrast, the fruits from Trapichillo and 14 de Marzo weighed 184.9 and 226.4 g, respectively ($P \leq 0.05$) (Table 2). Similarly, the fruits from Jicote and Tepic also exhibited significantly larger dimensions ($P \leq 0.05$) compared to those from Trapichillo and 14 de Marzo (Table 2). Hasan et al. (2024) reported fruit weights ranging from 105.25 to 137.8 g in *Annona squamosa*, which are lower than the weights observed in custard apple, likely due to species-specific differences.

The higher weight observed in fruits could be related to the canopy size, as it enhances light capture, which in turn promotes the accumulation of photosynthates for optimal fruit development (Poyam et al., 2022). Additionally, variations in fruit weight and size may be influenced by factors such as tree age and vigor, the number of fruits per tree, soil and climate conditions (like soil moisture and fertility), and the wild nature of the trees (Handique et al., 2022; Moreira-Macías et

frutos de anona e identificaron cuatro tonalidades del exocarpo: rojo, amarillo, morado y rosa, y atribuyeron estas variaciones a diferencias genéticas. El color verde, (con tonalidades amarillas), y morado del exocarpo coincide con lo reportado por Handique et al. (2022) y Vidal-Hernández et al. (2015). También se han reportado frutos color amarillo, anaranjado (Cruz & Deras, 2000) y rojo con tonalidades rosadas (Hasan et al., 2024).

Peso, longitud, diámetro y firmeza

En este estudio, los frutos de las localidades de Jicote y Tepic presentaron los mayores pesos ($P \leq 0.05$) con 367 y 369 g, respectivamente. En contraste, los frutos de las localidades de Trapichillo y 14 de Marzo tuvieron pesos de 184.9 y 226.4 g, respectivamente ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2). De manera consistente, los frutos de Jicote y Tepic también mostraron dimensiones estadísticamente superiores ($P \leq 0.05$) en comparación con los frutos de Trapichillo y 14 de Marzo (Cuadro 2). Hasan et al. (2024) reportaron pesos de 105.25 a 137.8 g en frutos de saramuyo, valores inferiores a los observados en anona, lo cual se atribuye a las diferencias propias entre especies.

al., 2016). In general, morphological variations serve as indicators of the expression of genetic components in plants as they respond to environmental factors (Hasan et al., 2024).

Regarding firmness, the fruits from Jicote and Trapichillo had the highest values, while those from 14 de Marzo and Tepic were the least firm (Table 2). These differences are likely due to the heterogeneity in the thickness of the exocarp in custard apple, as firmness values ranged from 2 to 19 N within the same plant material.

González-Agüero et al. (2016) reported that firmness in cherimoya fruits decreased from 16 to 4.9 N after 5 and 8 days of storage at 20 °C, respectively. These findings are consistent with the results of this study, as custard apple and cherimoya, although distinct species, both belong to the Annonaceae family and share similar characteristics, particularly in exocarp reticulation. It is important to note that firmness loss during ripening is a genetically regulated process involving biochemical and physiological changes that affect firmness, color, flavor, and texture (Martínez-González et al., 2017). The reduction in firmness is primarily due to modifications in the polymer networks of the primary cell wall. These changes are driven by a coordinated and interdependent action of enzymes and proteins, such as polygalacturonase, pectin methylesterase, and β-galactosidase, among others (Martínez-González et al., 2017).

Pulp weight, exocarp weight, number of seeds, and fresh seed weight

The pulp weight of fruits from Jicote was statistically higher than that of fruits from the other sites, which showed no significant differences among them (Table 3).

El mayor peso observado en los frutos podría estar relacionado con la extensión del dosel, ya que este favorece la captación de luz y, en consecuencia, la acumulación de fotosintatos que permiten un desarrollo óptimo del fruto (Poyam et al., 2022). Asimismo, las diferencias en el peso y tamaño de los frutos pueden estar influenciadas por factores como la edad y vigor de los árboles, al número de frutos por árbol, las condiciones edafoclimáticas (como la humedad y fertilidad del suelo) y el carácter silvestre de los árboles (Handique et al., 2022; Moreira-Macías et al., 2016). En general, las variaciones morfológicas son un indicador de expresión de los componentes genéticos de las plantas en respuesta al ambiente (Hasan et al., 2024).

En cuanto a la firmeza, los frutos de Jicote y Trapichillo presentaron los valores más elevados, mientras que los frutos de 14 de Marzo y Tepic tuvieron la menor firmeza (Cuadro 2). Estas diferencias probablemente se deben a que las anonas presentan heterogeneidad en el grosor del exocarpo, ya que se obtuvieron valores de firmeza de 2 hasta 19 N en un mismo material vegetal.

González-Agüero et al. (2016) reportaron que la firmeza disminuyó de 16 a 4.9 N a los 5 y 8 días de almacenamiento a 20 °C, respectivamente, en frutos de chirimoya. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en este estudio, ya que la anona y la chirimoya, a pesar de ser dos especies diferentes, pertenecen a la familia Annonaceae y tienen características similares en cuanto al tipo de reticulación en el exocarpo. Cabe destacar que la pérdida de firmeza durante la maduración es un proceso controlado genéticamente que implica cambios bioquímicos y fisiológicos que alteran la firmeza, el color, el sabor y la textura (Martínez-González et al., 2017). La disminución de la firmeza se debe a las modificaciones que ocurren en las redes de los polímeros que constituyen la pared celular primaria.

Table 2. Comparison of means for weight, length, diameter, and firmness of custard apple fruits from four sites in Tepic, Nayarit, Mexico.

Cuadro 2. Comparación de medias del peso, longitud, diámetro y firmeza de frutos de anona en cuatro localidades de Tepic, Nayarit, México.

Site / Localidad	Weight (g) / Peso (g)	Length (mm) / Longitud (mm)	Diameter (mm) / Diámetro (mm)	Firmness (N) / Firmeza (N)
Jicote	367.03 ± 19.61 a	94.86 ± 37.09 a	89.46 ± 1.17 ab	14.45 ± 0.66 a
Trapichillo	184.87 ± 18.53 b	74.16 ± 2.82 c	70.31 ±1.65 c	12.49 ± 1.33 a
14 de Marzo	226.49 ± 11.95 b	82.68 ± 1.76 b	83.74 ± 1.66 b	7.26 ± 0.46 b
Tepic	369.73 ± 37.09 a	93.49 ± 2.29 a	93.03 ± 2.35 a	6.81 ± 0.61 b
HSD / DMSH	76.49	8.07	6.58	3.17
CV	50.26	15.14	12.68	48.20

HSD: honestly significant difference; CV: coefficient of variation. Mean ± standard error. Means with the same letter in each column are not statistically different (Tukey, $P > 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Media ± error estándar. Medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P > 0.05$).

Table 3. Mean comparison of pulp weight, exocarp weight, number of seeds, and fresh seed weight in custard apple fruits from four sites in Tepic, Nayarit, Mexico.

Cuadro 3. Comparación de medias del peso de la pulpa, el exocarpo, número de semillas y peso de semillas frescas de frutos de anona en cuatro localidades de Tepic, Nayarit, México.

Site / Localidad	Pulp weight (g) / Peso pulpa (g)	Exocarp weight (g) / Peso exocarpo (g)	Number of seeds / Número semillas	Seed weight (g) / Peso semillas (g)
Jicote	265.53 ± 13.56 a	99.92 ± 3.67 b	80.92 ± 2.64 a	28.59 ± 1.34 a
Trapichillo	64.81 ± 8.40 b	70.05 ± 6.09 c	79.83 ± 3.65 a	21.77 ± 1.55 bc
14 de Marzo	96.60 ± 5.91 b	76.93 ± 3.39 c	63.17 ± 3.19 b	16.82 ± 0.97 c
Tepic	85.82 ± 14.09 b	152.64 ± 9.27 a	73.25 ± 5.73 ab	23.65 ± 2.35 ab
HSD / DMSH	43.02	19.07	13.91	5.57
CV	48.94	33.54	30.51	40.07

HSD: honestly significant difference; CV: coefficient of variation. Mean ± standard error. Means with the same letter in each column are not statistically different (Tukey, $P > 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Media ± error estándar. Medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P > 0.05$).

These variations may be attributed to the presence of firm, non-softened sections in the pulp of certain fruits, which made extraction and, consequently, quantification more difficult. Additionally, the amount of pulp is directly related to the final fruit size, and its variability may be influenced by factors such as metabolite accumulation, light exposure, water relations between the plant and the fruit, phytohormonal responses to environmental and endogenous stimuli, as well as genetic factors (Zhao et al., 2021).

Moo-Huchin et al. (2014) reported a pulp yield of 44 % in custard apple fruits from Yucatán. In the present study, fruits from Jicote reached a pulp yield of 62.8 %, while yields in the other sites ranged between 20.5 and 38.7 %. These differences may be related to contrasting soil and climate conditions between the two regions, including altitude (286 MASL in Yucatán vs. 915 m a. s. l. in Nayarit), soil type (Luvisol vs. Umbrisol), average temperature (27 °C vs. 25 °C), bedrock type (limestone vs. neovolcanic), and relative humidity (88 vs. 95 %) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2010; 2019). Ávila-de Hernández et al. (2012) and Jiménez-Zurita et al. (2016) reported pulp yields of 62 and 71 % in soursop, which agrees with the values in this study for the fruits from Jicote.

Regarding exocarp weight, fruits from Tepic had the highest values ($P \leq 0.05$), followed by those from Jicote, 14 de Marzo, and Trapichillo (Table 3). Differences in exocarp weight may be attributed to variations in exocarp thickness, fruit size, and the environmental conditions in which the trees developed. Moreover, the loss of firmness and changes in exocarp texture may be linked to the action of hydrolytic enzymes and other mechanisms involved in the fruit ripening process (Martínez-González et al., 2017).

Estas modificaciones involucran una acción coordinada e interdependiente de enzimas y proteínas como la poligalacturonasa, pectinmetilesterasa y β-galactosidasa, entre otras (Martínez-González et al., 2017).

Peso de la pulpa, peso del exocarpo, número de semillas y peso de semillas frescas

El peso de la pulpa de los frutos de Jicote fue estadísticamente mayor al resto de los frutos, los cuales no presentaron diferencias significativas entre ellos (Cuadro 3). Estas variaciones se podrían atribuir a la presencia de secciones no blandas en la pulpa de algunos frutos, lo cual dificultó su extracción y, en consecuencia, su cuantificación. Además, la cantidad de pulpa está directamente relacionada con el tamaño final del fruto, y su variabilidad se podría deber a factores como la acumulación de metabolitos, la exposición a la luz, la relación hídrica entre la planta y el fruto, la acción de fitohormonas ante estímulos ambientales y endógenos, así como a la influencia genética (Zhao et al., 2021).

Moo-Huchin et al. (2014) reportaron un rendimiento de pulpa de 44 % en frutos de anona provenientes del estado de Yucatán. En el presente trabajo, los frutos de Jicote alcanzaron un rendimiento de 62.8 %, mientras que en las demás localidades los valores oscilaron entre 20.5 y 38.7 %. Estas diferencias podrían estar asociadas a las condiciones edafoclimáticas contrastantes entre ambas regiones, como la altitud (286 m s. n. m. en Yucatán contra 915 m s. n. m. en Nayarit), el tipo suelo (luvisol contra umbrisol), temperatura promedio (27 °C contra 25 °C), tipo de roca (caliza contra neovolcánica), humedad relativa (88 % contra 95 %) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2010; 2019). Por otra parte, Ávila-de Hernández et al. (2012) y Jiménez-Zurita et al. (2016) obtuvieron en guanábana una proporción

Fruits from Jicote and Trapichillo had a significantly higher number of seeds ($P \leq 0.05$) compared to those from 14 de Marzo (Table 3). The seed counts recorded in this study exceed those reported by Hasan et al. (2024) for sugar apple, which ranged from 35 to 50 seeds per fruit; however, it is important to note that these are different species within the same genus. Variability in seed number may be influenced by the morphological characteristics of the inflorescence and its interaction with pollinators (Jiménez-Zurita et al., 2016). Additionally, seed size may depend on both the genotype and the environmental conditions present during plant development (García-Rodríguez et al., 2018).

Seed weight showed significant differences ($P \leq 0.05$) among sites, with seeds from fruits collected in Jicote and Tepic having the highest weights (Table 3). These differences may be partially attributed to the presence of damaged or hollow seeds, often resulting from insect infestations such as wasps or borers (*Bephratelloides cubensis*) (Vidal-Hernández et al., 2014), as well as variations in seed shape and size. Additionally, lower seed weights may be associated with reduced accumulation of photosynthates, genetic variability, or smaller fruit size (Handique et al., 2022).

Total soluble solids (TSS), pH, titratable acidity (TA), and maturity index (MI)

Significant differences ($P \leq 0.05$) in TSS concentration were observed among the fruits from the different sites. The highest values were recorded in fruits from 14 de Marzo and Jicote, while Trapichillo and Tepic showed lower concentrations (Table 4). Sugar content in fruit depends on the stage of ripeness, climate conditions, and genotype. Soluble sugars primarily result from the enzymatic conversion of starch reserves and are directly associated with the increase in sweetness during ripening (Africano et al., 2015). In climacteric fruits, TSS consists mainly of sugars, particularly glucose and fructose, which together account for approximately 80 % of the total sugar content (Vázquez-Cuecuecha et al., 2023).

Moo-Huchin et al. (2014) reported an average value of 17.75 °Brix in custard apples, which is higher than the values observed in fruits from Trapichillo and Tepic but lower than those recorded in fruits from Jicote and 14 de Marzo. González-Agüero et al. (2016) reported 18.2 °Brix in cherimoyas at the edible ripeness stage when stored at 20 °C, a value that falls within the range recorded in this study. Discrepancies in TSS values—both within custard apples and among other species of the same genus—can be attributed to the fact that these fruits are aggregate, meaning each individual may not be pollinated uniformly, which can lead to uneven ripening (de los Santos-Santos et al., 2020).

de pulpa entre 62 y 71 %, valores que coinciden con los obtenidos en este estudio en los frutos de Jicote.

En cuanto al peso del exocarpo, los frutos de Tepic presentaron los valores más altos ($P \leq 0.05$), seguidos por los de Jicote, 14 de Marzo y Trapichillo (Cuadro 3). Las variaciones en los pesos se pueden deber al grosor del exocarpo, al tamaño de los frutos y a las condiciones ambientales en que crecieron los árboles. Además, la pérdida de firmeza y los cambios en la textura del exocarpo podrían estar asociados a la acción de enzimas hidrolíticas y otros mecanismos que intervienen en la maduración del fruto (Martínez-González et al., 2017).

Los frutos de Jicote y Trapichillo tuvieron mayor número de semillas ($P \leq 0.05$) con respecto a los frutos de 14 de Marzo (Cuadro 3). Los valores obtenidos son superiores a lo reportado por Hasan et al. (2024) en saramuyo, donde encontraron de 35 a 50 semillas por fruto; sin embargo, se trata de especies distintas dentro del mismo género. La variación en el número de semillas podría estar relacionada con características morfológicas de la inflorescencia y con la interacción con los polinizadores (Jiménez-Zurita et al., 2016). Asimismo, el tamaño de las semillas puede depender tanto del genotipo como de las condiciones ambientales presentes durante el desarrollo de la planta (García-Rodríguez et al., 2018).

El peso de las semillas mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre localidades, donde las semillas de los frutos de Jicote y Tepic tuvieron el mayor peso (Cuadro 3). Las diferencias en esta variable se podrían deber, en parte, por la presencia de semillas dañadas o vacías, resultado del ataque de algún insecto como la avispa o el barrenador (*Bephratelloides cubensis*) (Vidal-Hernández et al., 2014), así como por diferencias en la forma y tamaño de las semillas. Asimismo, un bajo peso se puede asociar a una menor acumulación de fotosintatos, a la variabilidad genética o al tamaño global del fruto (Handique et al., 2022).

Sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable (AT) e índice de madurez (IM)

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la concentración de SST entre los frutos de las distintas localidades, observando los valores más altos en 14 de Marzo y Jicote, mientras que Trapichillo y Tepic presentaron las concentraciones más bajas (Cuadro 4). La cantidad de azúcares en el fruto depende de su estado de madurez, las condiciones climáticas y el genotipo. Los azúcares solubles se originan principalmente por la conversión del almidón de reserva y se asocian directamente con el incremento del sabor dulce en los frutos (Africano et al., 2015). En los frutos climatéricos, los SST están constituidos principalmente por azúcares, donde destacan la glucosa

Table 4. Mean comparison of the physicochemical characteristics of custard apple pulp from four sites in Tepic, Nayarit, Mexico.
Cuadro 4. Comparación de medias de las características fisicoquímicas de la pulpa de anona de cuatro localidades de Tepic, Nayarit, México.

Site / Localidad	TSS (°Brix) / SST (°Brix)	pH	TA (% citric acid) / AT (% ác. cítrico)	MI / IM
Jicote	18.36 ± 0.45 a	4.82 ± 0.02 b	0.45 ± 0.01 bc	41.31 ± 1.05 a
Trapichillo	16.00 ± 0.33 b	4.46 ± 0.02 c	0.62 ± 0.04 a	28.70 ± 1.45 b
14 de Marzo	19.48 ± 0.32 a	4.32 ± 0.02 d	0.54 ± 0.01 ab	37.17 ± 0.95 a
Tepic	16.25 ± 0.91 b	4.97 ± 0.05 a	0.41 ± 0.03 c	40.69 ± 1.79 a
HSD / DMSH	1.78	0.09	0.09	4.83
CV	16.02	3.20	28.99	21.03

TSS: total soluble solids; TA: titratable acidity; MI: maturity index; HSD: honestly significant difference; CV: coefficient of variation. Mean ± standard error. Means with the same letter in each column are not significantly different (Tukey, $P > 0.05$).

SST: sólidos solubles totales; AT: acidez titulable; IM: índice de madurez; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Media ± error estándar. Medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P > 0.05$).

Additionally, variation may be influenced by genetic and environmental factors such as temperature, solar radiation, and irrigation management (Fernandes do-Nascimento et al., 2022; Hasan et al., 2024).

Regarding pH, fruits from Tepic had the highest values, followed by those from Jicote, Trapichillo, and 14 de Marzo ($P \leq 0.05$) (Table 4). In most tropical fruits, approximately 90 % of the cellular volume is occupied by the vacuole, which typically has a pH between 5 and 5.5. During the formation of sugars such as sucrose and glucose, slight pH changes occur, acidity decreases, and fruit flavor is modified (Moreno & Deaquiz-Oyola, 2016). The pH values recorded in this study are consistent with those reported by González-Pariona and Cornejo-y Maldonado (2014) for certain cherimoya ecotypes (pH of 4.71). The differences observed between studies may be attributed to genetic and agroecological factors, as significant variation can occur even among cultivars of the same species (Villalba et al., 2006).

During ripening, fruits typically accumulate sugars and experience a decline in acidity, mainly due to the degradation of organic acids such as malic, citric, tartaric, oxalic, fumaric, and succinic acids, which contribute to flavor and vary in dominance depending on the species (Valero & Serrano, 2010). Titratable acidity (TA) was significantly higher in fruits from Trapichillo ($P \leq 0.05$), followed by those from 14 de Marzo, Jicote, and Tepic, which showed the lowest TA values (Table 4). Moo-Huchin et al. (2014) reported an average TA of 0.66 % in custard apple fruits, which is higher than the values reported in this study. Nolasco-González et al. (2023) found TA levels ranging from 0.59 to 0.86 % in soursops, which also exceeded the values recorded in fruits from 14 de Marzo, Tepic, and Jicote. These variations are likely influenced by environmental factors such as harvest season and location (Villalba et al., 2006).

y la fructosa, que representan aproximadamente 80 % del contenido total (Vázquez-Cuecuecha et al., 2023).

Moo-Huchin et al. (2014) reportaron un valor promedio de 17.75 °Brix en anona, lo cual es mayor al obtenido en Trapichillo y Tepic, pero inferior a lo observados en los frutos de Jicote y 14 de Marzo. Asimismo, González-Agüero et al. (2016) obtuvieron valores de 18.2 °Brix en chirimoya en estado de madurez de consumo almacenada a 20 °C, lo cual se encuentra dentro del rango registrado en este estudio. Las discrepancias en los valores de SST, tanto en anona como en frutos del mismo género, se pueden atribuir a que se trata de frutos múltiples, donde cada fruto individual no se poliniza de forma homogénea, lo cual ocasiona una maduración desigual (de los Santos-Santos et al., 2020). Además, la variación puede estar influenciada por factores genéticos y ambientales, como la temperatura, la radiación solar y el manejo del riego (Fernandes do-Nascimento et al., 2022; Hasan et al., 2024).

En cuanto al pH, los frutos de Tepic presentaron los valores más altos, seguidos por los frutos de Jicote, Trapichillo y 14 de Marzo ($P \leq 0.05$) (Cuadro 4). En la mayoría de los frutos tropicales, cerca de 90 % del volumen celular está ocupado por la vacuola, la cual suele presentar un pH entre 5 y 5.5. Durante la formación de sustratos como sacarosa y glucosa, ocurren ligeros cambios de pH, se reduce la acidez y se modifica el sabor de los frutos (Moreno, & Deaquiz-Oyola, 2016). Los valores registrados en este estudio son consistentes con lo reportado por González-Pariona y Cornejo-y Maldonado (2014) en algunos ecotipos de chirimoya (pH de 4.71). Las diferencias observadas entre ambos estudios podrían estar relacionadas con factores genéticos y agroecológicos, ya que incluso dentro de una misma especie los cultivares pueden presentar variaciones notables (Villalba et al., 2006).

MI was significantly higher ($P \leq 0.05$) in fruits from Jicote, followed by Tepic, 14 de Marzo, and Trapichillo (Table 4). This index is directly associated with the sensory perception of flavor in fruits (Vázquez-Cuecuecha et al., 2023) and is more closely linked to fruit palatability than sugar or acidity levels alone (Wills & Golding, 2016). The increase in MI is attributed to the reduction in both acidity and pH (Fernandes do-Nascimento et al., 2022), which enhances the organoleptic quality of the fruit.

Villalba et al. (2006) reported MI values of 9.66, 11.8, and 12.53 for Colombian fruits of custard apples, cherimoyas, and soursops, respectively. The values observed in this study exceeded those reported by these authors, which could be attributed to the contrasting soil and climate conditions between Colombia and Mexico, potentially influencing the genotypic and phenotypic characteristics of the fruits. Nolasco-González et al. (2019) recorded MI values for soursop ranging from 17 to 27.8, which are lower than those observed in this study, as well as the values reported by Nascimento et al. (2019) and Paitan-Anticona et al. (2022) for soursop (ranging from 5.68 to 30). The differences across these studies could be due to the distinct species (soursop and cherimoya) involved, though both belong to the same family. The content of sugars, organic acids, and volatile compounds are associated with the flavor of fruits and are measured as TSS and TA (Pérez-Díaz et al., 2020). In climacteric fruits, the increase in the MI typically coincides with the stage where they reach their peak respiration rate and rapidly mobilize their reserves (mainly organic acids) as part of the ripening process (Vázquez-Cuecuecha et al., 2023).

Conclusions

The soursop fruits collected from the localities in the municipality of Tepic, Nayarit, showed significant differences in their morphological and physicochemical characteristics. In particular, the fruits from Jicote stood out for having a higher pulp weight, a greater number of seeds, and a higher content of total soluble solids. These characteristics suggest that the material from this locality has high potential, which could be utilized for cultivation in orchards with agronomic management, commercial propagation, and the establishment of a germplasm bank for the species.

Acknowledgments

The first author thanks the Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) for the scholarship awarded (834405) for their graduate studies, as well as the Doctoral Program in Agricultural Biological Sciences at the Universidad Autónoma de Nayarit.

End of English version

Durante la maduración, es común que los frutos acumulen azúcares y disminuyan sus niveles de acidez, principalmente de ácidos orgánicos como el málico, cítrico, tartárico, oxálico, fumárico y succínico, los cuales contribuyen al sabor y predominan según la especie (Valero & Serrano, 2010). La AT fue significativamente mayor en los frutos de Trapichillo ($P \leq 0.05$), seguidos por los de 14 de Marzo, Jicote y Tepic, los cuales presentaron la menor AT (Cuadro 4). Moo-Huchin et al. (2014) reportaron una AT promedio de 0.66 % en frutos de anona, valor superior a los obtenidos en este estudio. Nolasco-González et al. (2023) obtuvieron valores de AT en guanábana de entre 0.59 y 0.86 %, superiores a los obtenidos en los frutos de 14 de Marzo, Tepic y Jicote. Estas variaciones pueden estar asociadas a factores ambientales como la época y el lugar de cosecha (Villalba et al., 2006).

El IM fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) en los frutos de Jicote, seguido de Tepic, 14 de Marzo y Trapichillo (Cuadro 4). Este índice esta asociado directamente con la percepción del sabor en los frutos (Vázquez-Cuecuecha et al., 2023), y está mejor relacionado con la palatabilidad del fruto que los niveles de azúcar o acidez por sí solos (Wills & Golding, 2016). El incremento del IM se debe a la disminución de la acidez y del pH (Fernandes do-Nascimento et al., 2022), lo cual mejora la calidad organoléptica del fruto.

Villalba et al. (2006) reportaron valores de IM de 9.66, 11.8 y 12.53 en frutos colombianos de anona, chirimoya y guanábana, respectivamente. Los valores registrados en el presente estudio superaron a los obtenidos por estos autores, lo cual se podría atribuir a las condiciones edafoclimáticas de Colombia y México, que pueden influir en las características genotípicas y fenotípicas de los frutos. Nolasco-González et al. (2019) obtuvieron valores de IM en guanábana de entre 17 y 27.8, los cuales son menores a los observados en este trabajo, al igual que los reportados por Nascimento et al. (2019) y Paitan-Anticona et al. (2022) en guanábana (de 5.68 a 30). Las diferencias entre estos estudios se pueden deber a que son frutos de distintas especies (guanábana y chirimoya), aunque pertenecientes a la misma familia. El contenido de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles están asociados con el sabor de los frutos y se miden como SST y AT (Pérez-Díaz et al., 2020). En frutos climatéricos, el incremento del IM suele coincidir con la etapa en la que alcanzan su tasa respiratoria máxima y movilizan rápidamente sus reservas (principalmente de ácidos orgánicos) como parte del proceso de maduración (Vázquez-Cuecuecha et al., 2023).

Conclusiones

Los frutos de anona recolectados en las localidades del municipio de Tepic, Nayarit, presentaron diferencias

References / Referencias

Africano, K. L., Amanza-Merchán, P. J., & Balaguera-López, H. E. (2015). Physiology and biochemistry of peach (*Prunus persica* L.) fruit maturation. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 9*(1), 161-172. https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3754

Ananthavalli, M., & Karpagam, S. (2023). Comparative account on the nutritional value of Annona squamosa and Annona reticulata a promising dietary supplement. *International Journal of Pharmaceutical Science*, *12*(1),14-16.

Andrés, A. J., & Andrés-Hernández, L. (2011). Biología, diversidad, conservación y uso sostenible de los recursos genéticos de *Annonaceae* en México. *Universidad Autónoma Chapingo*.

Andrés, A. J., & Segura-Ledesma, J. (2014). Conservación y uso de los recursos genéticos de *Annonaceae* en México. *Revista Brasileira de Fruticultura, 36*, 118-124. https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500014

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). *Official Methods of Analysis*. AOAC. https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf

Ávila-de Hernández, R., Pérez-de Camacaro, M., Giménez, A., & Hernández-Caraballo, E. (2012). La guanábana: Una materia prima saludable para la industria de alimentos y bebidas. *Revista Digital de Investigación y Posgrado de la Universidad Nacional Experimental Politécnica, 2*(2), 135-142. https://www.researchgate.net/publication/327142535_La_guanabana_una_materia_prima_saludable_para_la_industria_de_alimentos_y_bebidas

Badrie, N., & Schauss, A. (2010). Soursop (*Annona muricata* L.): composition, nutritional value, medicinal uses, and toxicology. In R. R. Watson, & V. R. Preedy (eds), *Bioactive Foods in Promoting Health: Fruits and Vegetables* (pp. 621-643). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374628-3.00039-6

Benito-Bautista, P., Arellanes-Juárez, N., & Pérez-Flores, M. E. (2015). Color y estado de madurez de fruto de tomate de cascara. *Agronomía Mesoamericana, 27*(1), 115-130. https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21891

Bioversity International & CHERLA (2008). *Descriptors for cherimoya (Annona cherimola Mill.)*. Bioversity International. https://ihsmsubtropicals.uma.es/downloads/Annona%20cherimola/PDFs/descriptors%20for%20cherimoya.pdf

xCastañeda-Garzón, S. L., Ligarreto, G. A., & Miranda-Lasprilla, D. (2016). Morphological evaluation of an *in situ* collection of species from the Annonaceae family in Colombia. *Agronomía Colombiana, 34*(2), 131-140. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.54527

Chidinma, C., Onyejiaka, C., Henrietta, C., Irumachukwu, F., Shedrach, C., & Chukwudubem, A. (2024). Bioactive phytochemicals in *Annona muricata* fruit juice ethanol extract. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences, 26*(2), 17-23. https://doi.org/10.30574/gscbps.2024.26.2.0034

Cruz, E., & Deras, H. (2000). Colecta y establecimiento de anonáceas en el Salvador. *Agronomía Mesoamericana*, *11*(2), 91-95. https://doi.org/10.15517/am.v11i2.17318

de los Santos-Santos, M. A., Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., & Alia-Tejacal, I. (2020). Evaluación de almidón como recubrimiento comestible sobre los compuestos fenólicos y actividad antioxidante en frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana, 43*(4), 443-452. https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.443

Fernandes do-Nascimento, P. L. O., Dantas de-Morais, P. L., Ferreira-Melo, M., Ramalho-Neta, T., Santos-Morais, M. A., & Azevedo-Soares, C. S. (2022). Maturation and quality of 'Isabel Precoce' grape grown on different rootstocks under semiarid conditions. *International Journal of Agriculture and Natural Resources,* 49(1), 73-84. https://doi.org/10.7764/ijanr.v49i1.2321

García-Rodríguez, J. J., Ávila-Perches, M. A., Gámez-Vázquez, F. P., de la O-Olán, M., & Gámez-Vázquez, A. J. (2018). Physical and phsiological maize seed quality as influenced by the planting pattern of parents. *Revista Fitotecnia Mexicana, 41*(1), 31-37. https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.31-37

González-Agüero, M., Tejerina-Pardo, L., Zamudio, M. S., Contreras, C., Undurraga, P., & Defilippi, B. G. (2016). The usual acid-accumulating behavior during ripening of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) is linked to changes in transcription and enzyme activity related to citric and malic acid metabolism. *Molecules, 21*(5), 398. https://doi.org/10.3390/molecules21050398

González-Pariona, F., & Cornejo-y Maldonado, A. (2014). Identificación *in situ* de ecotipos de chirimoya (*Annona cherimola* Mill) con aptitudes potencialmente comerciales en el distrito de Churubamba – Huánuco. *Investigación Valdizana, 8*(1), 9-17. https://www.redalyc.org/pdf/5860/586061890002.pdf

Handique, K., Hazarika, D. N., Langthasa, S., Khanikar, H. B., & Deori, G. D. (2022). Morphological characterization of custard apple (*Annona reticulata*) grown in Brahmaputra valley of Assam. *The Pharma Innovation Journal*, *11*(5), 684-

significativas en sus características morfológicas y fisicoquímicas. En particular, los frutos provenientes de la localidad de Jicote destacaron por presentar un mayor peso de pulpa, número de semillas y contenido de sólidos solubles totales. Estas características sugieren que el material de esta localidad posee un alto potencial, el cual se puede aprovechar para su cultivo en huertas con manejo agronómico, su propagación de manera comercial, así como para establecer un banco de germoplasma de la especie.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada (834405) para sus estudios de posgrado, así como al Programa de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nayarit.

Fin de la versión en español

688. https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue5S/PartJ/S-11-5-72-968.pdf

Hasan, M., Mokter, H., Haque, T., Kumar, B. A., & Chandra, H. N. (2024). Morpho-biochemical evaluation of three sugar apple (*Annona squamosa* L.) genotypes. *International Journal of Horticultural Science and Technology, 12*(2), 189-198. https://doi.org/10.22059/ijhst.2024.369325.744

Hernández-Fuentes, L. M., Andrés-Agustín J., Espíndola-Barquera, M. D. C., Castañeda-Vildózola, A., Ballesteros-Patrón, G., & Vera-Sánchez, K. S. (2016). Recursos genéticos de Anonáceas (Annonaceae) en México: Situación actual y perspectivas. *Agro Productividad, 9*(4), 3-8. https://revista-agroproductividad.org/index.php/agrop&roductividad/article/view/739

Hernández-Verdugo, S., González-Sánchez, R. A., Porras, F., Parra-Terraza. S., Valdez-Ortiz, A., Pacheco-Olvera, A., & López-España, R. G. (2015). Plasticidad fenotípica de poblaciones de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabrusculum*) en respuesta a disponibilidad de luz. *Biochemical Sciences, 93*(2), 231-240. https://doi.org/10.17129/botsci.237

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Peto, Yucatán*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/31/31058.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2019*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/AEGPEF_2019/702825192242.pdf

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. https://doi.org/10.29312/remexca.v7i6.175

Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Guzmán, G. G. (2017). Postharvest fruits: maturation and biochemical changes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *19*, 4075-4087. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674

Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortíz-Vázquez, E., Vargas-y Vargas, M. L., Betancur-Ancona, D., & Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, *152*, 508-515. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.013

Morales-Santos, T. M., & Sánchez-Hernández, H. (2022). Mecanismos inmunológicos en las plantas. *Ciencia*, *73*(4), 74-75. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_4/PDF/13_73_4_1348_MecanismosInmunologicos.pdf

Moreira-Macías, R., Héctor-Ardisana, E., Uguña-Romero, F., Franco-Flores, F., & Rodríguez-Alfonso, D. (2016). Variabilidad físico-química de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) de una población *in situ* del sur de Manabí, Ecuador. *Agrotecnia de Cuba, 40*(1), 34-36. https://www.researchgate.net/publication/315954330_Variabilidad_fisico-quimica_de_frutos_de_guanabana_Annona_muricata_L_de_una_poblacion_in_situ_del_sur_de_Manabi_Ecuador

Moreno, B. L., & Deaquiz-Oyola, Y. A. (2016). Caracterización de parámetros fisicoquímicos en frutos de mora (*Rubus alpinus* Macfad). *Acta Agronómica, 65*(2), 130-136. https://doi.org/10.15446/acag.v65n2.45587

Moreno, E., Ortiz, B. L., & Restrepo, L. P. (2014). Contenido total de fenoles y actividad antioxidante de pulpa de seis frutas tropicales. *Revista Colombiana de Química*, *43*(3), 41-48. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042014000300006&lng=en&tlng=es

Nascimento, M. M., Jesus, R. M., Santos, H. M., Silva, A. L., Campos, N. M., Silva, E. G., & Lobo, I. P. (2019). Quality pattern evaluation of frozen soursop pulps: an assessment based on chemical composition and chemometric analysis. *Food Science and Technology*, *40*(2), 508-516. https://doi.org/10.1590/fst.04919

Nolasco-González, Y., García-Magaña, L., León-Fernández, A. L., & Monribot-Villanueva, J. L. (2023). Formulation and phytochemical analysis of a potentially functional brevage from combining a leaf extract and pulp of *Annona muricata* (Annonaceae). *Acta Botánica Mexicana, 130*, e2185. https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2185

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. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2023

Paitan-Anticona, E., Marmolejo-Gutarra, D., Marmolejo-Gutara, K., Sotelo-Méndez, A., & Cuevas-Ríos, M. (2022). Caracterización de la composición físico-química de pulpas de tres ecotipos de guanábana (*Annona muricata* L.) y obtención de néctar con lactosuero. *Tecnología Química*, *42*(3), 453-473. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852022000300453&lng=pt&tlng=es

Panda, D., Barik, S., Padhi, S. K., & Kumar, N. J. (2023). Nutritional and nutraceutical potential of underutilized wild edible fruits used by tribal people of Koraput, India for health benefit. *Science and Culture*, *89*(7-8), 219-224.

Pathak, K., & Zaman, K. (2014). An overview on medicinally important plant- *Annona reticulata* Linn. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research, 5*(4), 299-301. https://www.researchgate.net/profile/Kalyani-Pathak/publication/288628769_An_overview_on_medicinally_important_plant_-_Annona_reticulata_linn/links/5e5e28ee4585152ce801442e/An-overview-on-medicinally-important-plant-Annona-reticulata-linn.pdf

Pérez-Díaz, F., Arévalo-Galarza, M. L., Pérez-Flores, L. J., Lobato-Ortiz, R., & Ramírez-Guzmán, M. E. (2020). Fruits growth and postharvest characteristics of native tomato genotypes (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana, 43*(1), 89-99. https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.89

Pérez-Flores, F. A., Jiménez-Zurita, J. O., Bautista-Rosales, P. U., Balois-Morales, R., Ochoa-Jiménez, V. A., & Palacios-López, O. A. (2023). Generalidades de la anona (*Annona reticulata*

L.), farmacología y fitoquímicos. Una revisión. *Revista Bio Ciencias, 10*, e1401, https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1401

Poyam, S., Nag, G. P., Kumar, B., Singh, D. P., & Dewangan, S. (2022). Physico-chemical properties of custard apple (*Annona squamosa* L.) genotypes of Bastar Plateau. *The Pharma Innovation Journal. 11*(7), 3059-3063. https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue7/PartAM/11-7-210-606.pdf

SAS Institute Inc. (2000). *SAS/STAT® 9.0 user's guide*. SAS Institute Inc.

Senadeera, S. S., Prasanna, P. H. P., Jayawardana, N. W., Gunasekara, D. C., Senadeera, P., & Chandrasekara, A. (2018). Antioxidant, physicochemical, microbiological, and sensory properties of probiotic yogurt incorporated with various *Annona* species pulp. *Heliyon. 4*(11), e00955. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00955

Solorzano-Morán, S., Alia-Tejacal, I., Rivera-Cabrera, F., López-Martínez, V., Pérez-Flores, L. J., Pelayo-Zaldívar, C., Guillén-Sánchez, D., de León-Sánchez, F., & Maldonado-Astudillo, Y. I. (2015). Quality attributes and functional compounds of Mexican plums (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits, 70*(5), 261-270. https://doi.org/10.1051/fruits/2015027

Valero, D., & Serrano, M. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781439802670

Vázquez-Cuecuecha, O. G., García-Gallegos, E., & Chávez-Gómez, J. A. (2023). Caracterización física y química de los frutos de tres variedades de *Prunus persica* L. Batsch en Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 14*(5), 86-95. https://doi.org/10.29312/remexca.v14i5.3197

Vidal-Hernández, L., López-Moctezuma, H., Vidal-Martínez, N. A., Ruiz-Bello, R., Castillo-Rocha, D. G., & Chiquito-Contreras, R. G. (2014). La situación de las annonaceae en México: Principales plagas, enfermedades y su control. *Revista Brasileira de Fruticultura, 36*(1), 44-54. https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500005

Vidal-Hernández, L., Vidal-Martínez, N. A., Colorado-Elox, J. J., Vidal-Martínez, E. C., Ruiz-Bello, R., Ruiz-Ramírez, J., Chiquito-Contreras, R. G., Rivera-Fernández, A., & Alemán-Chávez, I. (2015). Recursos fitogenéticos de las anonáceas en el estado de Veracruz. In E. Vidal-Lezama, N. A. Vidal-Martínez, & L. Vidal-Hernández (eds), *Anonáceas. Plantas antiguas. Estudios recientes.* (pp. 9-12). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19719.60328

Villalba, M., Yepes, I., & Arrázola-Paternina, G. S. (2006). Caracterización fisicoquímica de frutas de la zona del Sinu para su agroindustrialización. *Revista Temas Agrarios, 11*(1), 15-23. https://doi.org/10.21897/rta.v11i1.636

Wills, R., & Golding, J. (2016). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. CABI. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9781786391483.0000

Yahia, E. M. (2019). *Postharvest physiology and bichemistry or fruits and vegetables*. Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/C2016-0-04653-3

Zhao, X., Muhammad, N., Zhao, Z., Yin, K., Liu, Z., Wang, L., Luo, Z., Wang, L., & Liu, M. (2021). Molecular regulation of fruit size in horticultural plants: A review. *Scientia Horticulturae*, *288*, 110353. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110353