



Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Caracterización físico-morfológico del fruto de mangostán *Garcinia mangostana* L. cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México

Physical-morphological characterization of the mangosteen fruit *Garcinia mangostana* L. cultivated in Tuxtla Chico, Chiapas, México

Authors/Autores: Martínez-Rodríguez, A.E., Villarreal-Fuentes, J.M., Alia-Tejacal, I., Guevara-Hernández, F.

ID: e1858

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1858>

Received/Fecha de recepción: December 17th 2024

Accepted /Fecha de aceptación: November 21th 2025

Available online/Fecha de publicación: December 15th 2025

Please cite this article as/Como citar este artículo: Martínez-Rodríguez, A.E., Villarreal-Fuentes, J.M., Alia-Tejacal, I., Guevara-Hernández, F. (2025). Physical-morphological characterization of the mangosteen fruit *Garcinia mangostana* L. cultivated in Tuxtla Chico, Chiapas, México. Revista Bio Ciencias, 13, e1858. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1858>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.



Artículo original

Caracterización físico-morfológico del fruto de mangostán *Garcinia mangostana* L. cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México

Physical-morphological characterization of the mangosteen fruit *Garcinia mangostana* L. cultivated in Tuxtla Chico, Chiapas, México

Caracterización físico-morfológico del mangostán/
Physical-morphological characterization of mangosteen

Martínez-Rodríguez, A.E.¹()¹, Villarreal-Fuentes, J.M.^{2*}()², Alia-Tejacal, I.³()³, Guevara-Hernández F.¹()¹

¹ Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V. Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Ocozocoautla-Villaflor, km 84.5, Apartado postal #78. 30470, Villaflor, Chiapas, México.

² Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV. Universidad Autónoma de Chiapas. Entronque Carretera Costera y Huehuetán Pueblo, SN. 30660, Huehuetán, Chiapas, México.

³Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad, 1001, Col Chamilpa. 62209, Cuernavaca, Morelos, México.

***Corresponding Author:**

Juan Manuel Villarreal-Fuentes. Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV. Universidad Autónoma de Chiapas. Entronque Carretera Costera y Huehuetán Pueblo, SN. 30660, Huehuetán, Chiapas, México. Teléfono: (+52) 962 121 85640. E-mail: jmfv@unach.mx

RESUMEN

Hay un creciente interés en la industria alimentaria por los frutos de mangostán y la superficie cultivada en la región del Soconusco, Chiapas, ha aumentado, sin embargo, no se ha realizado ningún estudio sobre las características físico-morfológicas de los frutos producidos en la región. El presente estudio describe características físicas-morfológicas del fruto de 10 genotipos de mangostán cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas y utilizando análisis descriptivo, conglomerados y discriminante canónico se definieron materiales promisorios para futuros programas de mejoramiento genético. Los frutos fueron almacenados a 23 °C, 70 % H.R. y se analizaron completamente al azar a los 0, 3, 6, 9 y 12 días después de su cosecha. La masa del fruto varió de 66 a 85 g, el diámetro fue de 6 a 8 cm; la firmeza en pulpa y cáscara incrementó durante la poscosecha de 1.3 a 2.4 N y 14.5 a 35 N respectivamente; durante la maduración, el color de los frutos mostró tendencia entre rojo y morado ($h = 15$ y 26) con baja luminosidad (L^* entre 24 y 32) y opacos (C^* entre 3 y 16). Se formaron tres grupos de árboles con 3, 5 y 2 integrantes, de acuerdo con el análisis de agrupamiento, basado principalmente en la masa y diámetro de fruto, grosor de



cáscara, peso de cáscara y ancho y peso de semilla. Los grupos 1 y 3 presentaron las mejores características de calidad por lo que muestran potencial para su mejoramiento genético.

PALABRAS CLAVE:

Caracterización morfológica, *Garcinia mangostana*, firmeza, color, fruto.

ABSTRACT

There is a growing interest in the food industry in mangosteen fruits, and the cultivated area in the Soconusco region of Chiapas has increased. However, no studies have been conducted on the physical-morphological characteristics of fruits produced in the region. This study describes the physical and morphological traits of fruits from 10 mangosteen genotypes cultivated in Tuxtla Chico, Chiapas. Using descriptive analysis, cluster analysis, and canonical discriminant analysis, promising materials were identified for future breeding programs. Fruits were stored at 23 °C and 70 % RH, and were analyzed in a completely randomized design at 0, 3, 6, 9, and 12 days after harvest. Fruit mass ranged from 66 to 85 g, and diameter from 6 to 8 cm; pulp and peel firmness increased during postharvest from 1.3 to 2.4 N and 14.5 to 35 N, respectively. During ripening, fruit color shifted between red and purple ($h = 15-26$), with low lightness ($L^* = 24-32$) and low chroma ($C^* = 3-16$). Cluster analysis grouped trees into three categories with 3, 5, and 2 members, mainly based on fruit mass and diameter, peel thickness and weight, and seed width and weight. Groups 1 and 3 exhibited the best quality traits, indicating their potential for genetic improvement.

KEYWORDS:

Morphological characterization, *Garcinia mangostana*, firmness, color, fruit.

Introducción

El fruto de mangostán *G. mangostana*, es una fruta climática de origen tropical cultivado en el sureste asiático (Rizaldy *et al.*, 2022). Variedades conocidas en el mundo incluyen la variedad estándar 'Mangosteen' y algunas locales como 'Mangosteen Malaccensis' en Malasia, 'Mangosteen Thai' en Tailandia y 'Mangosteen Borneo' en Indonesia (Bohra, 2024). En sur y centro américa, como en México, Colombia, Brasil, Costa Rica y Panamá, se encuentran escasas plantaciones comerciales a causa de que es un frutal con producción tardía para la primera cosecha (8 a 10 años) (Díaz *et al.*, 2011). Sin embargo, gracias a su excelente calidad y alta capacidad antioxidante (Nawawi *et al.*, 2023) existe una alta demanda en los mercados nacionales e internacionales (FAO, 2024). La fruta ha sido venerada en el pasado, pues la reina Victoria de Inglaterra aseguró una vez que, cualquier persona que le trajera frutas de mangostán *Garcinia mangostana*, inmediatamente le daría el título de caballero. Es por esa razón que al mangostán se le conoce con frecuencia como la "reina de las frutas" o la "frutas de los dioses" (Ketsa & Paull, 2011). El cultivo de mangostán fue introducido a México la década de los 60's a través del Campo Experimental "El Palmar" del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Díaz & Picón, 2007); Las actividades de investigación sobre el mangostán comenzaron en la década de los 90's, debido a que se consideró como una alternativa productiva altamente rentable para las regiones tropicales húmedas del país. Las perspectivas que se tuvieron sobre el mangostán en México fueron válidas, ya que en los últimos años el cultivo de mangostán se ha extendido a los estados de Chiapas, Veracruz y Jalisco (Rueda *et al.*, 2014) con una superficie sembrada aproximada de 840 ha con tendencia a crecer (Díaz & Díaz, 2011). En la región del Soconusco, Chiapas, se encuentran plantaciones recientes (2013-2017) que representan el 98 % de la superficie en México, estas plantaciones iniciaron su vida productiva en el periodo 2019-2013 (Díaz *et al.*, 2019). En el campo experimental Rosario Izapa en Tuxtla Chico,



Chiapas, se reportaron 25 226 frutos cosechados en el cuarto ciclo de producción con un promedio de 146 frutos por árbol. Los resultados indican que el rendimiento del mangostán en Tuxtla Chico es similar y en algunos casos superior a países productores del Sureste asiático como Indonesia y Filipinas (Díaz *et al.*, 2019), lo anterior otorga a nuestro país alta competitividad en los mercados internacionales de mangostán.

G. mangostana es una especie con semillas apomíticas, sin embargo, se ha comprobado que sí presenta alta variabilidad genética (Matra *et al.*, 2016), además, los métodos típicos de propagación vegetativa han resultado ser complicados por lo que generalmente es propagado a partir de semillas (Hapsari *et al.*, 2018), esto puede representar una alta variabilidad genética en los árboles cultivados en la región del Soconusco, Chiapas.

El mangostán se considera uno de los cultivos del futuro debido a su sabor superior, su alto valor nutracéutico, su vida útil, su mínima incidencia de plagas y enfermedades, su gran capacidad para el procesamiento y, lo más importante, su gran aceptación por parte de los consumidores. Por lo tanto, el desarrollo de genotipos deseables en el mangostán podría ayudar a la expansión del cultivo también en áreas no convencionales (Bohra, 2024). Por lo anterior, es necesario conocer la morfología de frutos de *G. mangostana* que se producen en México y así desarrollar estrategias para futuros programas de mejoramiento genético o preservar el germoplasma y comprender que tan diverso es su genética.

En la presente investigación se analizó las características poscosecha físicas-morfológicas de frutos de 10 genotipos de mangostán provenientes de Tuxtla Chico, Chiapas, México, con el objetivo de analizar la similitud/variabilidad morfológica y calidad de frutos que se produce en la región y así ofrecer materiales superiores para la industria alimenticia, al consumidor y a futuros programas de mejoramiento genético.

Material y Métodos

Los frutos fueron cosechados del Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas, el cual se encuentra en la Latitud 14° 56' y Longitud Oeste 92° 16'. La región presenta una altitud de 320 m con una temperatura media anual de 25.5 °C y una precipitación de 3544.5 hasta 5000 mm (INEGI, 2010).

Se seleccionaron 10 árboles considerados mejores para su evaluación poscosecha (105, 122, 133, 198, 212, 217, 218, 219, 277 y 286) de una superficie de dos hectáreas detectando el periodo de fructificación. De cada árbol se tomaron 25 frutos en etapa seis de maduración (Palapol *et al.*, 2009) que corresponde a un color negro púrpura. La unidad experimental fue de un fruto y se tuvieron 5 repeticiones experimentales completamente al azar. El análisis de laboratorio se llevó a cabo en el Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrícolas, de la Universidad Autónoma de Chiapas, los frutos se almacenaron a 23 ± 2 °C y 70 % de humedad relativa. Se realizaron análisis por duplicado a los 0, 3, 6, 9 y 12 días después de su cosecha midiendo variables morfológicos y físicos.

Análisis morfológico

Para la masa de las estructuras del fruto se utilizó una balanza digital de modelo ScoutPro SP 4001 (OHAUS®) con resolución mínima de 0.1 g y máxima de 4 kg. Se pesó cada uno de los frutos cosechados para obtener la masa de fruto, posteriormente se diseccionó cuidadosamente para obtener la masa de peciolo, cáscara, pulpa y semillas. Además, se cuantificó el número de semillas por fruto. Para la longitud y diámetros se utilizó un vernier y cinta métrica, con los cuales se midieron la longitud y diámetro del fruto; diámetro de cáscara y largo y diámetro de semillas.



Análisis físico

La firmeza del pericarpo y mesocarpo se realizó con un Texturómetro universal marca FORCE FME con el cual se tomó la fuerza de penetración en Newton (N; para el pericarpo se determinó por ambos lados de la parte ecuatorial de un fruto entero, mientras que con la pulpa se retiró el arilo completo y se midió por ambos lados de la parte ecuatorial.

El color de la epidermis se determinó con un espectrofotómetro X-rite (mod. 3290, USA), se obtuvieron los valores de luminosidad (L^*), cromaticidad (C^*) y matiz (h) mediante lecturas de tres partes diferentes de cada fruto (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2023).

Análisis estadístico

Los datos de las variables se estudiaron por estadística descriptiva (Castillo, 2011), posteriormente se realizó análisis clúster usando distancias euclidianas y el método de varianzas mínimas de Ward (1963), seguido de un análisis discriminante canónico a los grupos resultantes de acuerdo con Johnson (1998), Núñez-Colín & Escobedo-López (2014) y Cruz-Castillo *et al.* (1994).

Todas las pruebas se calcularon con el programa SAS v. 9.0. Las gráficas fueron elaboradas con el software SigmaPlot® v. 12, en las que se presenta el promedio de las observaciones y su error estándar.

Resultados y Discusión

Estadística descriptiva

El peso de frutos presentó un bajo coeficiente de variación (7.7 %) con un promedio de 75.40 g y máximo de 85.14 g (Tabla 1). Mulyono *et al.* (2021) en Indonesia, reporta frutos de 25.31–57.31 g, Díaz *et al.* (2019) en el campo experimental Rosario Izapa, mismo lugar donde se recolectaron los frutos en esta investigación, registraron una cosecha de 25 226 frutos en 1 hectárea, de los cuales el 61.7 % fueron de 60 a 80 g, 7.2 % de 80 a 100 g y 31 % menos de 60 g, sin embargo, Tac-an *et al.* (2021) exponen resultados en peso de fruto superiores a los 100 g, según ASEAN (Association of Southeast Asian Nations), pesos mayores a 100 g entran a clasificación de calidad extra. Los datos registrados por Díaz *et al.* (2019) y en nuestro trabajo sobre el peso de los frutos, evidenciaron un comportamiento productivo común en muchos frutales que para el caso del mangostán es destacado por Sdoodee *et al.* (2008), quienes señalan un efecto adverso en el tamaño de los frutos con abundante fructificación.

El promedio del diámetro del fruto fue de 7.53 cm, Díaz *et al.* (2011) menciona que el diámetro promedio de los frutos de mangostán es de 5.8 cm con un rango de variación de 4.2 a 8.4 cm, mientras que Morton (1987) destaca un rango de 3.4 a 7.5 cm y recientemente en Indonesia se han encontrado dimensiones de 3.6 a 4.57 cm (Mulyono *et al.*, 2021), por consiguiente, los resultados obtenidos respecto al diámetro están dentro del rango establecido por Díaz *et al.* (2011), pero destaca en algunos reportes de principales países productores de mangostán como Indonesia.

El peso de la cáscara tuvo un mínimo de 34.03 g, máximo de 49.84 y un promedio de 40.28 g; el peso de la pulpa osciló entre 26.58 y 32.71 g con un promedio de 29.5 g y las semillas rondaron en 1.09 a 1.42 g (Tabla 1). Con los datos descritos anteriormente, las proporciones del fruto en torno a la pulpa, cáscara y semilla fueron de 41.5 %, 56 % y 2.5 % respectivamente; Díaz *et al.* (2011) mencionan que, la pulpa constituye aproximadamente el 20 % del peso total del fruto, mientras que, en estudios conducidos en Brasil (Muller *et al.*, 1995), compararon la composición de los frutos de mangostán y encontraron que los frutos con peso similar a los reportados en el presente trabajo (51 – 75 g) tenían una proporción de pulpa, semilla y cáscara de 20.4 %, 3.0 % y 76.6 %, por lo que los resultados obtenidos en esta investigación destacan con el doble de pulpa; esto hace que el porcentaje en cáscara sea 20 % menos, mientras que la proporción en semilla es similar. Por otro

lado, Hidayat *et al.* (2020) en Indonesia, reporta 65.27 % en cáscara. Por lo que se puede sugerir que, en Tuxtla Chico, Chiapas, se pueden encontrar frutos de mangostán con mayor porcentaje de pulpa que los frutos producidos en otras partes del mundo.

Respecto a las semillas, hubo un promedio de 1.44 semillas con un peso mínimo y máximo de 1.09 y 1.42 g promediando 1.26 g (Tabla 1); su longitud osciló en 1.49 – 1.80 cm con un promedio de 1.66 cm; la anchura fluctuó entre 1.07 a 1.30 cm promediando 1.2 cm. Díaz *et al.* (2011) menciona que el tamaño de las semillas de frutos producidos en Tuxtla Chico, Chiapas varía de 1.5 a 2.5 cm de largo y 1 a 1.5 cm de ancho con un peso promedio de 1 a 2 g, en ese sentido, los datos expresados corroboran los obtenidos en este trabajo; por el contrario, en Malasia se han reportado semillas con una longitud y anchura de 1.39 y 1.17 cm respectivamente, con un peso promedio de 0.7 g (Tsan, 2022), datos por debajo de lo reportado en este trabajo y del rango establecido por Díaz *et al.* (2011).

Tabla 1. Estadística Descriptiva de las variables evaluadas en frutos de 10 genotipos de mangostán cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México.

Variable	Media	Rango	Mínimo	Maximo	CV (%)
Masa del fruto (g)	75.40	18.89	66.25	85.17	7.7
Longitud del fruto (cm)	5.22	0.34	5.08	5.42	2.23
Diámetro del fruto (cm)	7.53	2.31	6.18	8.49	9.60
Masa del peciolo (g)	2.62	0.63	2.29	2.92	8.61
Grosor del pericarpio (cm)	0.65	0.21	0.57	0.78	11.81
Masa del pericarpio (g)	40.28	15.81	34.03	49.84	12.19
Masa de pulpa (g)	29.5	6.13	26.58	32.71	6.66
Semillas (número)	1.44	0.72	0.96	1.68	14.40
Longitud de semillas (cm)	1.66	0.31	1.49	1.80	6.84
Ancho de semilla (cm)	1.2	0.23	1.07	1.30	6.54
Masa de semilla (g)	1.26	0.33	1.09	1.42	9.87

Análisis de agrupamiento

El dendograma se dividió en tres grupos (Figura 1), se identificaron como Grupo 1, 2 y 3 respectivamente, dichos grupos fueron separados por la variabilidad en las características del fruto, El grupo 1 se integró por 5 genotipos, los árboles 198, 277, 217, 122 y 286, el grupo 2 por los árboles 105 y 218, finalmente el grupo 3 lo integraron los árboles 219, 212 y 133. A pesar de que se ha demostrado que la polinización cruzada solamente es posible entre el mangostán y la *G. mangostana* var. *malaccensis* silvestre (Hambali & Natawijaya, 2016), en este sentido, el flujo genético sería unidireccional desde la var. silvestre *malaccensis* hasta el mangostán cultivado, con variación aportada solo por los donantes de polen. Sin embargo, Sinaga *et al.* (2010) en diferentes localidades de Indonesia expuso 5 grupos en el análisis de clúster y el nivel de polimorfismo revelado por la isoenzima fue de 88 %. Estos resultados junto con lo reportado en esta investigación, sugieren que hay alto flujo genético a pesar de que *G. mangostana* es una especie con reproducción asexual

denominado apomixis (Yao *et al.*, 2023), por lo que la planta producida con este tipo de semillas conserva las mismas características de los árboles de donde se obtienen los frutos de los que se extrajeron las semillas, caso inviable en el mangostán, ya se ha demostrado la amplia variabilidad genética en *G. mangostana* debido a que es una planta poliploide, de hecho, el mangostán exhibe una variación genética moderada dentro de una misma población y eso se corrobora en esta investigación, aun cuando las muestras fueron tomadas en una superficie de 2 hectáreas teniendo el mismo manejo agronómico y los mismos factores ambientales, presentaron alta variabilidad.

La variación genética en el mangostán podría deberse a una hibridación natural con múltiples ancestros como *G. malaccensis*, *G. hombroniana* Pierre y *G. venulosa* o a una inestabilidad resultante de la poliploidía y la asincronía del genoma (Matra *et al.*, 2016).

La variación genética en forma de recursos genéticos es la base de cualquier programa de expansión de área, ya que brinda la oportunidad de identificar genotipos adecuados para la adaptación a nuevos entornos. En México, existen especies relacionadas como *Garcinia humilis* (achachairú) (Sanchez *et al.*, 2024) y *G. intermedia* (limoncillo o toronjil), este último es una especie originaria del trópico americano, en México, crece semi-cultivada en huertos familiares en Santiago Acahuato, Apatzingan, Michoacán, México (Agustín *et al.*, 2022). La diversidad disponible dentro de las especies y en los taxones silvestres contribuye significativamente al desarrollo de nuevas variedades, posibles portainjertos y posible domesticación de especies candidatas (Bohra, 2024).

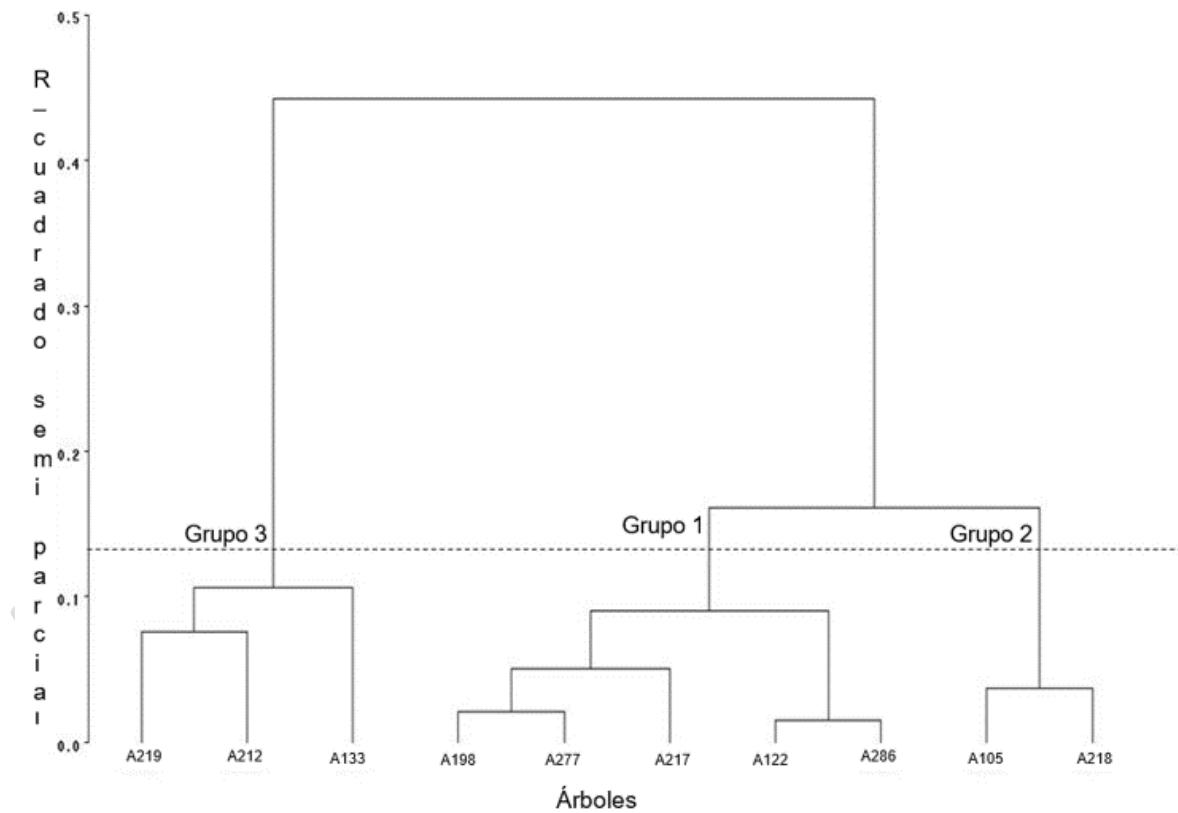


Figura. Denograma de 10 genotipos de mangostán (*Garcinia mangostana* L.) cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, Mexico construido por el método de Ward a partir de 11 variables morfológicas del fruto.

Análisis discriminante canónico

La varianza total se expresó en dos raíces canónicas. La primera función (CAN 1) explicó el 72 % y la segunda el 28 %. La CAN 1 se relacionó con la masa del fruto, diámetro del fruto, grosor de la cáscara y peso de la cáscara (Tabla 2), la función CAN 2 se relacionó con 2 descriptores de la semilla: Ancho y peso (Tabla 2). El análisis discriminante canónico examina simultáneamente las diferencias de todas las variables, que, en oposición a otros métodos sustentados en eigenanálisis, exhiben las variables de los grupos preestablecidos que sí son distintos y no las de mayor variación (Cruz-Castillo *et al.*, 1994; Núñez-Colín & Escobedo-López, 2014). Esto propone que las variables de ancho de semilla, peso de semilla, masa de fruto, diámetro de fruto, grosor de cáscara y peso de la cáscara son distintos entre los grupos.

Los frutos del grupo 3 mostraron mayores proporciones del fruto: peso del fruto y pulpa, mayor longitud y diámetro, además, mayor grosor y peso de cáscara (Tabla 3), no obstante, el promedio de número de semilla fue el más bajo de los 3 grupos. El grupo 1 representado por la mayor cantidad de árboles obtuvieron más números de semilla, longitud, ancho y peso de semilla (tabla 3). El grupo 2 conformado por los árboles 105 y 218 presentaron resultados intermedios en casi todas las variables (exceptuando peso del peciolo) en comparación con el grupo 1 y 3. La alta variación genética tiene un gran potencial para producir plantas de calidad. Esto se puede hacer mediante selección masiva en algunas plantas para producir nuevas variedades, principalmente los árboles de los grupos 1 y 3 ya que presentaron las mejores características de calidad en la fruta. Además, los árboles del grupo 3 presentaron mejores características correspondientes a la cáscara, es de importancia señalar que hay un influyente interés en la industria farmacéutica por el pericarpio del mangostán, es sabido que este tejido es muy rico en propiedades nutracéuticas, como antocianinas, fenoles y xanthonas (Andayani *et al.*, 2020) con capacidad anticancerígena al generar un efecto protector en la prevención en los procesos degenerativos (Nardini & Garaguso, 2020), de igual forma puede prevenir enfermedades cardiovasculares (Sari *et al.*, 2020) , diabetes (Yani *et al.*, 2021) y tiene potencial en la prevención de la pérdida de memoria y enfermedades neurodegenerativas (Tiang *et al.*, 2020).

Tabla 2. Estructura canónica total de 11 variables en las dos funciones canónicas de 10 genotipos de mangostán cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México.

Variable	CAN1	CAN2
Masa del fruto	0.8795	0
Longitud del fruto	0.7040	0.2804
Diámetro del fruto	0.8489	0.1804
Masa del peciolo	0.3196	-0.5015
Grosor del pericarpio	0.9124	0.1217
Masa del pericarpio	0.8407	0.0783
Masa de la pulpa	0.4294	0.3662
Número de semillas	-0.5853	0.3168
Longitud de semilla	-0.5846	0.5300
Ancho de semilla	-0.4288	0.6946
Masa de semilla	-0.5295	0.6536
% Variabilidad	72	28



Tabla 3. Promedio de 11 variables de los grupos formados en el análisis de clúster de 10 genotipos de mangostán cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México.

Variable	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Masa de fruto (g)	71.82	73.62	82.73*
Longitud de fruto (cm)	5.18	5.14	5.35
Diámetro de fruto (cm)	7.14	7.4	8.36*
Masa de peciolo (g)	2.56	2.81	2.70
Grosor de pericarpio (cm)	0.60	0.63	0.76*
Masa de pericarpio (g)	37.35	38.12	46.29*
Masa de pulpa (g)	28.90	27.53	30.50
Semillas (número)	1.55	1.36	1.28
Longitud de semilla (cm)	1.71	1.57	1.58
Ancho de semilla (cm)	1.23*	1.11	1.16
Masa de semilla (g)	1.32*	1.14	1.19

*Valores importantes en selección por calidad de fruto (mayor masa y diámetro de fruto; mayor grosor y masa de cáscara) basadas en Can 1. +Valores importantes en selección por calidad de fruto (mayor ancho y masa de semilla) basada en Can 2.

Firmeza de pulpa y cáscara en el proceso de maduración

La firmeza de la pulpa tuvo tendencia a disminuir en todos los caos sin excepción, al comienzo la firmeza de la pulpa comenzó fluctuando de 1.5 a 2.4 N, terminando al día 12 después de cosecha con 1.3 a 1.5 N (Figura 2). El valor más alto lo obtuvo el árbol 198 el día 3 con 2.7 N, por otro lado, el valor más bajo llegó a 1 N el día 9, esto se presentó en 8 de los 10 árboles estudiados: 198, 122, 212, 286, 105, 218, 217 y 277 (Figura 2). Suriati (2023), en Indonesia, expone en frutos cosechados en etapa 3 de maduración una firmeza en pulpa de 4.1 N disminuyendo a 0.6 N a los 9 días de almacenamiento; por otro lado, Noichinda *et al.* (2007), en Tailandia, reporta en frutos cosechados en etapa 6 (purpura oscuro) una firmeza en pulpa de 0.4 N disminuyendo a los 10 días de almacenamiento a 0.2 N. Lo anterior dicho da por evidencia el comportamiento que hubo en la firmeza de la pulpa en esta investigación, lo que sugiere que la firmeza de la pulpa tiende a disminuir como resultado de la disminución del contenido de pectina insoluble. Nochinda *et al.* (2007), sugiere que las bajas temperaturas (13 °C) retrasan la actividad de las enzimas que contribuyen a la degradación de la pectina, por lo que el cambio en la solubilización de la pared celular relacionado a las actividades de la pectina metilesterasa y la poligalacturonasa pueden ser responsables del ablandamiento de la pulpa durante la maduración. Contrario a la pulpa, la firmeza de la cáscara tuvo tendencia a crecer en todas las selecciones estudiadas. En el día 0 no hubo diferencia significativa en ninguno de los genotipos; el promedio osciló de 14.5 a 15 N, posteriormente, los árboles 196, 286, 105, 218 y 277 tuvieron un rápido crecimiento del día 9 al 12 (Figura 2). No obstante, no se presentó diferencia significativa con las demás selecciones; al día 12 la firmeza de la cáscara fluctuó de 22 a 35 N, siendo el árbol 122 quien presentó la menor firmeza. Este comportamiento también es evidenciado por diversos autores como Palapol *et al.* (2009) en Tailandia, reportan valores similares a nuestro estudio en frutos en etapa 6 (púrpura oscura) con una firmeza en cáscara de 42.9 a 47.9 N, por otro lado, Castro *et al.* (2012), en Brasil, reportan en frutos en etapa 6 de maduración una firmeza en el epicarpio de 40 a 47 N a los 12 días después de cosecha incrementando hasta 140 N a los 18 días de almacenamiento. El proceso de lignificación tiene una función estructural en las plantas, y muchas veces ocurre como una respuesta metabólica al estrés impuesto a los tejidos vegetales por la cosecha y manejo poscosecha, etileno, cambios de temperatura, pérdida de agua, composición e intercambio gaseoso, lesiones mecánicas y senescencia (Siegel, 1993; Chitarra y

Chitarra, 2005). Lo que sugiere que el incremento de la firmeza se debe a la lignificación de la cáscara, proceso asociado a la senescencia de la fruta del mangostán.

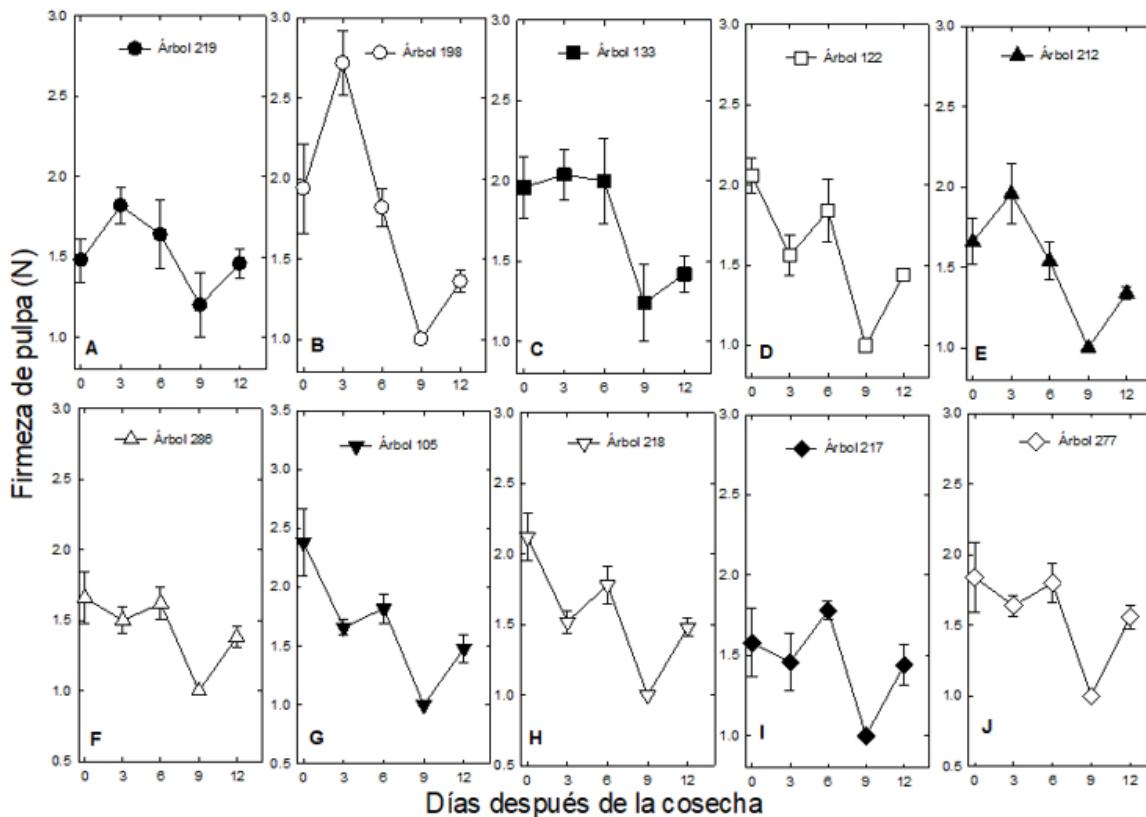


Figura 2. Firmeza de la pulpa de los frutos de 10 genotipos de mangostán (A-J) *Garcinia mangostana* cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México. Cada punto representa la medida de cinco observaciones y su error estándar.

Desarrollo de color

La luminosidad (L^*) de los frutos fueron similares tanto en el valor como en el comportamiento para las 10 selecciones estudiadas, al principio del análisis fluctuó de 28 a 32 (Figura 4), mostrando un descenso considerable a los días posteriores, tendiendo un pico mínimo el día 9 después de cosecha, dichos valores oscilaron de 24 a 25 (Figura 4), seguidamente de un incremento en el día 12 (26 – 28); en Indonesia se han reportado valores similares que los reportados en esta investigación, Herawati *et al.* (2019), reportan una L^* en frutos de mangostán de 25 a 27.9, mientras que Hidayat *et al.* (2020), señalan un promedio en la luminosidad en frutos en etapa 6 de maduración (morado oscuro) de 22.73.

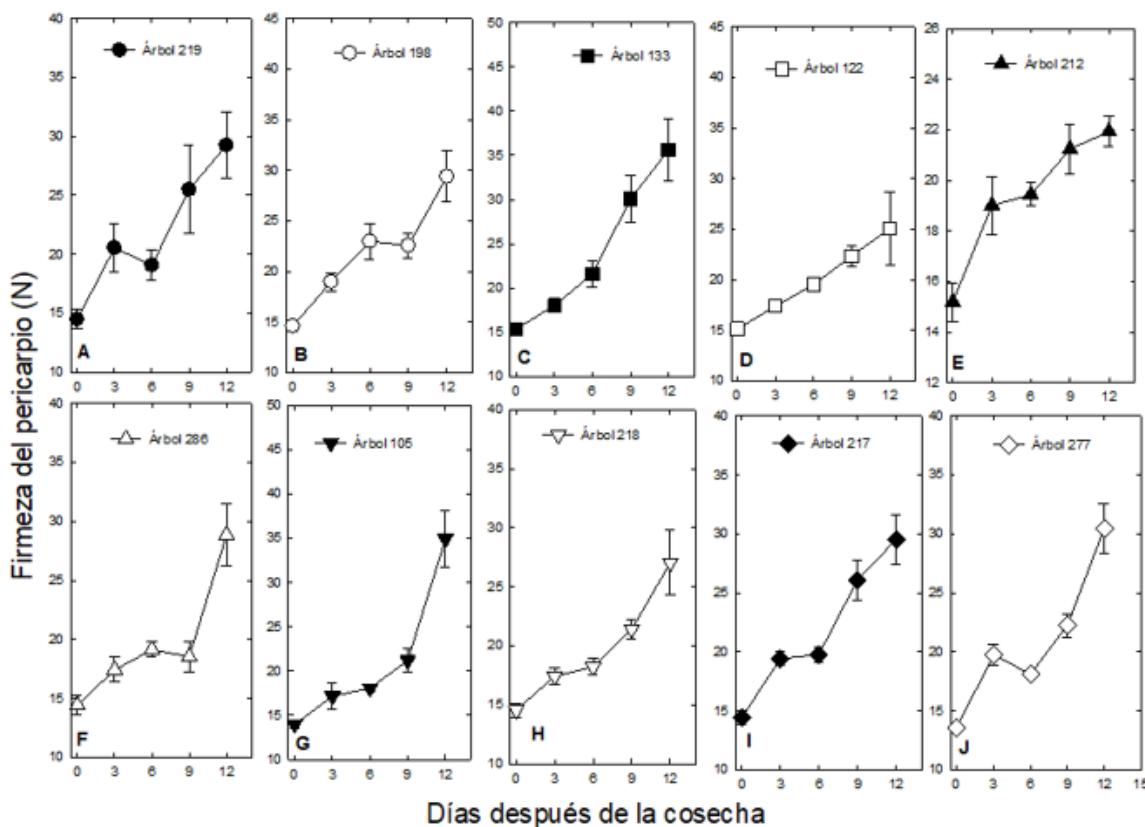


Figura 3. Firmeza de la cáscara en frutos de 10 genotipos (A-J) de mangostán *Garcinia mangostana* cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México. Cada punto representa la medida de cinco observaciones y su error estándar.

Respecto a la cromaticidad (C^*), que se refiere a la saturación del color y cuyos valores altos indican un color vívido y valores bajos un color opaco, al comienzo los valores variaron de 9 a 16; la dinámica de cromaticidad (C^*) en todos los árboles fueron similares (exceptuando el árbol 219), tuvieron tendencia a disminuir llegando el día 12 con una variación de 3 a 6 (Figura 5). El árbol 219 presentó los valores más bajo al comienzo con 7, similar a los datos obtenidos al día 12 de los demás frutos (Figura 5). Posteriormente tuvo un descenso a 6 y se mantuvo hasta el último día de análisis (Figura 5), lo anterior sugiere que los frutos del árbol 219 presentaban un ligero avance en su maduración. Por los valores obtenidos, se puede decir que el color de la cáscara es opaco. Hidayat *et al* (2020) en Indonesia reportan valores similares en cromaticidad de frutos púrpura oscuro de *G. mangostana*, con un promedio de 9.36 ± 2.14 .

Respecto al matiz o ángulo hue (h), se sabe a simple vista que los frutos de *G. mangostana* en etapa 6 son púrpura negro, esto se corrobora con los datos obtenidos en esta investigación el cual tiende entre rojo y morado con valores de 15 – 26 (figura 8), otros autores señalan valores de 20 a 0 (Palapol *et al.*, 2009; Piriayavinit *et al.*, 2011; Hidayat *et al.*, 2020) de los autores mencionados anteriormente, Palapol *et al.* 2009, mencionan que en etapa 5 de maduración (púrpura oscuro), los frutos tienen un valor de h de 16, esto contradice a los valores obtenidos en este trabajo, ya que los frutos analizados ya tenían un color purpura oscuro. En resumen, el color de los frutos de *G. mangostana* mostraron tendencia entre rojo y morado ($h = 15$ y 26) con baja luminosidad (L^* entre 24 y 32) y opacos (C^* entre 3 y 16); durante la maduración de los frutos de mangostán, estos tienden a perder su brillo y el color de la epidermis cambia de blanco amarillento-verde claro (etapa 0) a negro púrpura (etapa 6); esta decoloración de la epidermis se puede utilizar como índice de cosecha y es ocasionado por la degradación de la clorofila y la síntesis de pigmentos antocianinos (Tadmor *et al.*, 2010).

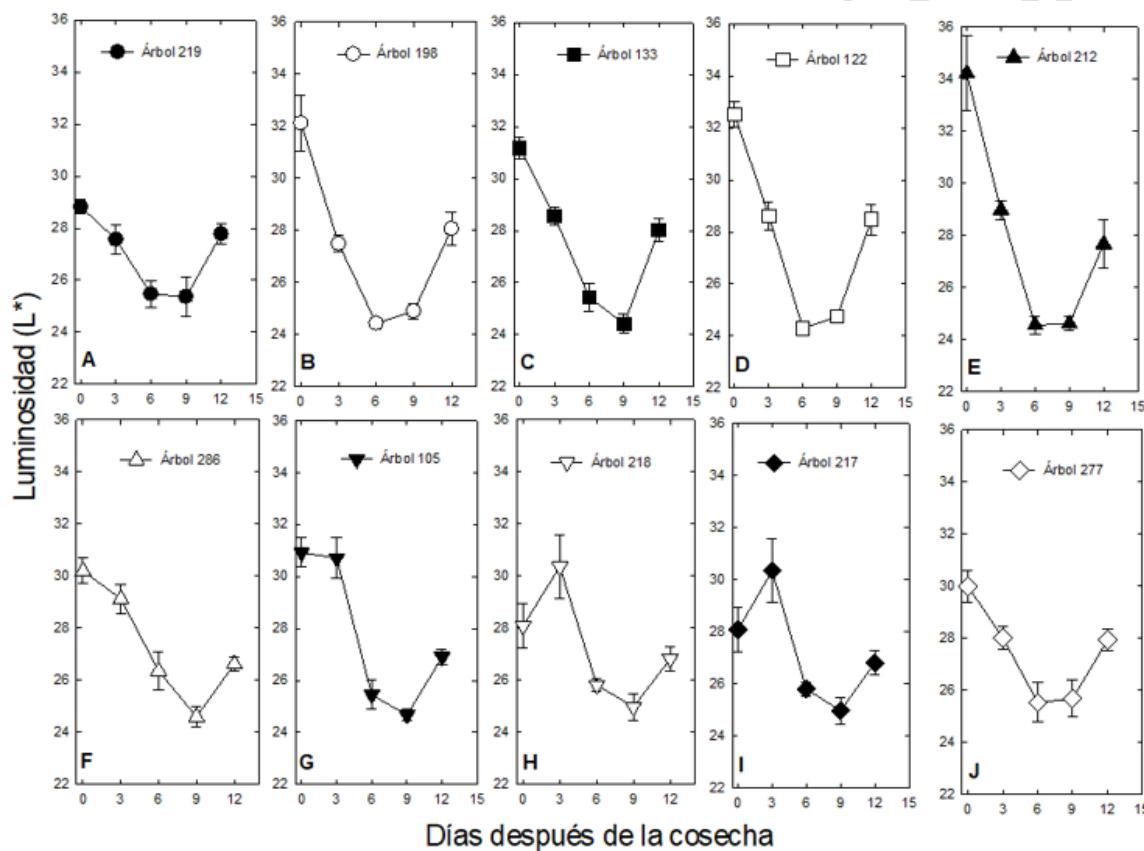


Figura 4. Luminosidad del pericarpio en frutos de 10 genotipos (A-J) de mangostán *Garcinia mangostana* cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México. Cada punto representa la medida de cinco observaciones y su error estándar.

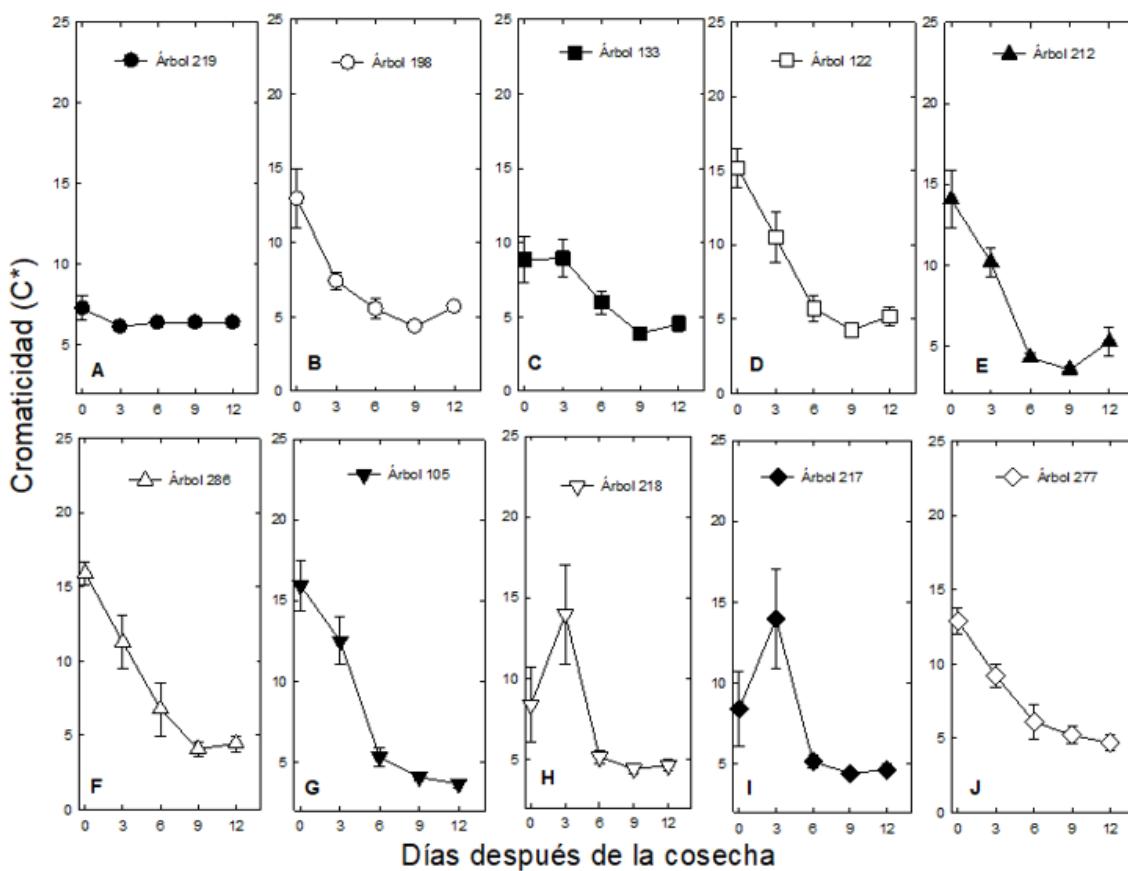


Figura 5. Cromaticidad del pericarpio en frutos de 10 genotipos (A-J) de mangostán *Garcinia mangostana* cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México. Cada punto representa la medida de cinco observaciones y su error estándar.

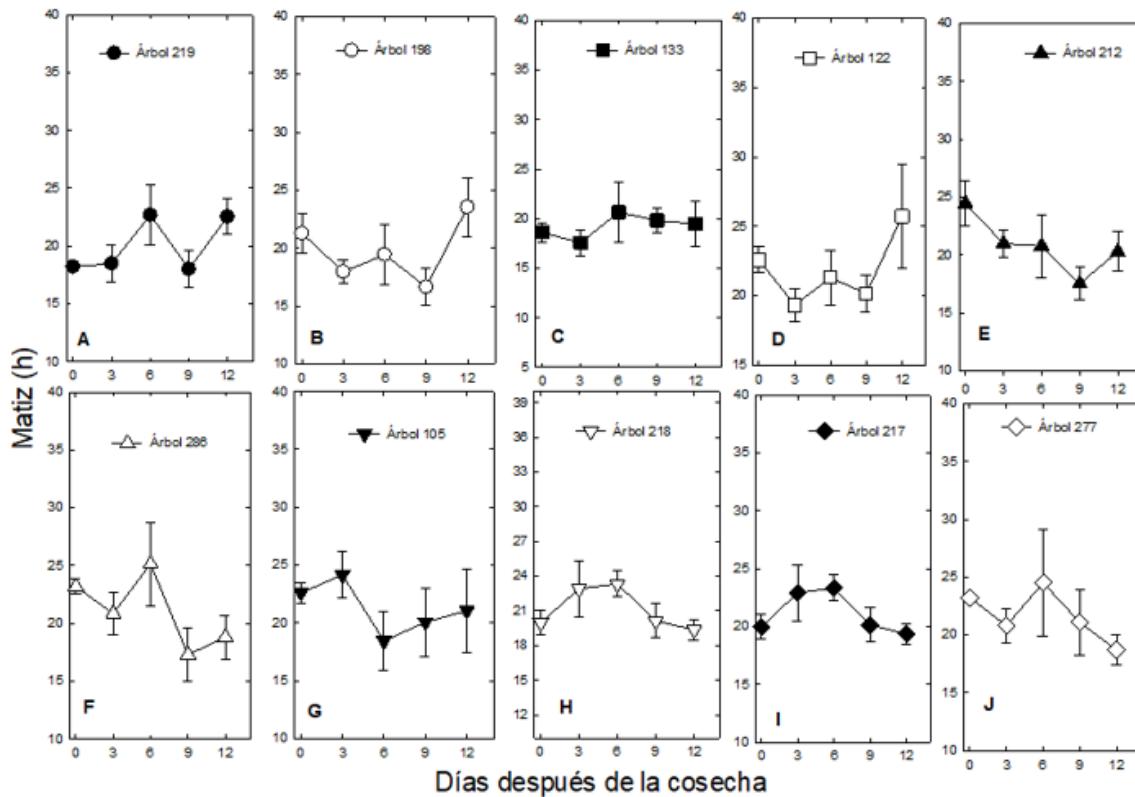


Figura 6. Matiz del pericarpio en frutos de 10 genotipos (A-J) de mangostán *Garcinia mangostana* cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México. Cada punto representa la medida de cinco observaciones y su error estándar.

Conclusiones

Los frutos producidos en Tuxtla Chico, Chiapas, México demostraron tener calidad necesaria para la industria alimenticia en el mercado nacional y exportación.

Se presentó alta variabilidad dentro de una población de *Garcinia mangostana*, por lo que se tiene gran potencial para producir plantas de calidad, los frutos de los grupos 1 y 3 presentaron las mejores características de calidad, se sugiere que sean utilizados en posteriores programas de mejoramiento genético en mangostán en el Soconusco, Chiapas.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, AEMR, JMVF, IAT, FGH; desarrollo de la metodología, AEMR; manejo de software, IAT, AEMR; validación experimental, JMVF, IAT; análisis de resultados, AEMR, JMVF, IAT; Manejo de datos, AEMR, IAT; escritura y preparación del manuscrito, AEMR; redacción, revisión y edición, AEMR, JMVF, IAT, FGH; administrador de proyectos.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Agradecimientos

Se agradece al CONAHCYT por el apoyo a través de la beca nacional de maestría (1200341) otorgada a Alexis Eduardo Martínez Rodríguez y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el aporte de los frutos.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Agustín, J.A., Cruz-Castillo, J.G., & Bautista Villegas, J.C. (2022). *Garcinia intermedia*, a neglected fruit tree in the tropics of America. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 28(1), 5-15. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.03.005>
- Andayani, R., Armin, F., & Mardhiyah, A. (2020). Determination of the total phenolics and antioxidant activity in the rind extracts of *Garcinia mangostana* L. *Garcinia cowa* Roxb., and *Garcinia atroviridis* Griff. EX T. Anders. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 13, 149-152. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2020.v13i8.36525>
- Bohra, P. (2024). Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.). In Rajasekharan, P.E. & Ramanatha-Rao, V. *Handbooks of Crop Diversity: Conservation and Use of Plant Genetic Resources, Fruit and Nut Crops*. (pp. 426-443). Ed. Springer Nature Singapore Pte Ltd. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-5348-6>
- Castillo, M.L.E. (2011). Introducción al SAS® para Windows. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 295 p.
- Castro, M.F.P.P.M., Anjos, V.D. de A., Rezende, A.C.B., Benato, E.A., & Valentini, S.R. de T. (2012). Postharvest technologies for mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) conservation. *Food Science and Technology*, 32(4), 668-672. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000103>
- Chitarra, A.B., & M.I.F. Chitarra. (2005). Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA. 785 p.
- Cruz-Castillo, J.G., Ganeshanandam, S., MacKay, B.R., Lawes, G.S., Lawoko, C.R.O., & Woolley, D.J. (1994). Applications of Canonical Discriminant Analysis in Horticultural Research. *HortScience*, 29(10), 1115-1119.
- Díaz, A.M., & Picón, R.L. (2007). Influencia de los factores climáticos en la fenología del mangostán (*Garcinia mangostana* L.) en la zona centro del estado de Veracruz, México. En Memoria del II simposio Internacional de Fruticultura tropical y subtropical. p. 98.
- Díaz, F.V.H., & Díaz, H.B.G. (2011). El mangostán (*Garcinia mangostana* L.): Una alternativa para la reconversión productiva en la región tropical húmeda de México. In López, G.G., Iracheta, D.J. & Avendaño, A.C.H. *Tecnologías de producción para el trópico. 65 aniversario del Campo Experimental Rosario Izapa. INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa, Libro Técnico No 7.* (pp. 74-78). Ed. INIFAP. Tuxtla Chico, Chiapas, México.
- Díaz, F.V.H., Díaz, H.B.G., Ruiz, C.P.A., Mariles, F.V., Cano, G.M.A., & Gálvez, M.L.A. (2011). El mangostán *Garcinia mangostana* L. Libro Técnico No 8. INIFAP. Tuxtla Chico, Chiapas, México.
- Díaz Fuentes, V. H., Ruiz-Cruz, P.A., Nájera-Domínguez, W., Iracheta-Donjuán, L., & Gálvez-Marroquín, L.A. (2019). Comportamiento productivo inicial del mangostán (*Garcinia mangostana* L.) en el Soconusco, Chiapas, México. *Agro Productividad*, 12(3), 17-22. <https://doi.org/10.32854/agrop.v10.i1.1321>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2024). Major Tropical Fruits Market Review 2023. Rome. https://agfstorage.blob.core.windows.net/misc/FP_com/2024/08/20/Ado.pdf.
- Hambali, G.G., & Natawijaya, A. (2016). A preliminary study of *Garcinia malaccensis* collection in Taman Buah Mekarsari, Cileungsi, Bogor, Indonesia. In Proceedings od the SABRAO 13th Congress and International Conference. Contribution of Breeding Research for Sustainable Agricultural Production Under Changing Environment for Food Security in Asia and Oceania. Bogor: Society for the Advancement of Breeding Research in Asia and Oceania, 14-16 September 2015. (pp. 31-36).
- Hapsari, D.P., Poerwanto, R., Sopandie, D., & Santosa, E. (2018). Partial root-zone irrigation effects on growth, metabolism and calcium status of Mangosteen seedling (*Garcinia mangostana* L.). *Adv. Hort. Sci.*, 32(1), 49-59. <https://doi.org/10.13128/ahs-21360>
- Herawati, H., Winarti, C., Setyabudi, D.A., & Wahyuningsih, K. (2019). Effect of Hormone Treatment, Coating Material and Ethylene Absorber on the Shelf Life of Mangosteen. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 309, article 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/309/1/012019>



- Hidayat, D.D., Andriansyah, R.C.E. Indriati, A. Surahman, D.N., & Luthfiyanti, R. (2020). Studies on geometrical, physical, mechanical and colour properties of mangosteen fruits. *IOP Conference series: Earth and Environmental Science*, 462, article 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012045>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 Tuxtla Chico Chiapas. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07102.pdf. Fecha de consulta: 07 de abril de 2024.
- Johnson, D.E. (1998). *Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos*. International Thomson Editores, Ciudad de México, México. 566 p.
- Ketsa, S., & Paull, R.E. (2011). Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.). In Yahia, E.M. *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. (pp. 1–30). Ed. Woodhead Publishing. <https://www.researchgate.net/publication/277891434> Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits Volume 4 Mangosteen to sapote
- Maldonado-Astudillo, Y.I., Alia-Tejacal, I., Jiménez-Hernández, J., & Núñez-Colín, C.A. (2023). Postharvest quality and physiological changes in five ecotypes of *Spondias purpurea* L. harvested at three distinct maturity stages. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 45, article e-607. <https://dx.doi.org/10.1590/0100-29452023607>
- Matra, D.D., Poerwanto, R., Santosa, E., Sobir, S., Higashio, H., Anzai, H., & Inoue, E.. (2016). Analysis of Allelic Diversity and Genetic Relationships Among Cultivated Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) in Java, Indonesia Using Microsatellite Markers and Morphological Characters. *Tropical Plant Biology*, 9(1), 29-41. <https://doi.org/10.1007/s12042-016-9161-8>
- Morton, J.F. (1987). Mangosteen. In Morton, J.F. *Fruits of warm climates*. Miami, Florida. pp 301 – 304. https://books.google.com.mx/books/about/Fruits_of_Warm_Climates.html?id=MjJunQEACAAJ&redir_esc=y
- Muller, C.H., Figueiredo F.J.C., & Muler, N.R.M. (1995). Armazenamento de sementes de mangostao. Circular Técnica 58. EMBRAPA-CPATU. Belém, Brasil. 15 pp.
- Mulyono, D., Irawati, Y., & Syah, M.J.A. (2021). Identification morphological variability of six mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) As a conservation strategy for local varieties. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 739(1), article 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012076>
- Nardini, M., & Garaguso, I. (2020). Characterization of bioactive compounds and antioxidant activity of fruit beers. *Food Chemistry*, 305, article 125437. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125437>
- Nawawi, N., Ijod, G., Abas, F., Ramli, N., Mohd Adzahan, N., & Mohamad Azman, E. (2023). Influence of Different Drying Methods on Anthocyanins Composition and Antioxidant Activities of Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Pericarps and LC-MS Analysis of the Active Extract. *Foods*, 12(12), article 2351. <https://doi.org/10.3390/foods12122351>
- Noichinda, S., Bodhipadma, K., & Singkhornart, S. (2007). Changes in pectic substances and cell wall hydrolase enzymes of mangosteen (*Garcinia mangostana*) fruit during storage. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 35, 229-233. <https://doi.org/10.1080/01140670709510189>
- Núñez-Colín, C.A., & Escobedo-López, D. (2014). Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. *Acta Agríc. Pec.*, 1, 1-6. <https://aap.uuem.mx/index.php/aap/article/view/1>
- Palapol, Y., Ketsa, S., Stevenson, D., Cooney, J.M., Allan, A.C., & Ferguson, I.B. (2009). Colour development and quality of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit during ripening and after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 51(3), 349–353. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.08.003>
- Piriyavinit, P., Ketsa, S., & van Doorn, W.G. (2011). 1-MCP extends the storage and shelf life of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 61(1), 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.02.007>
- Rizaldy, D., Hartati, R., Nadhifa, T., & Fidrianny, I. (2022). Chemical Compounds and Pharmacological Activities of Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) – Updated Review. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(2), 2503–2516. <https://doi.org/10.33263/BRIAC122.25032516>
- Rueda, S.A., Pérez, D.J.F., & Ireta, M.J. (2014). El cultivo del mangostán (*Garcinia mangostana*) como nueva alternativa de producción en el estado de Jalisco.
- Sanchez, F.W., Crane, J.H., Bayabil, H., Sarkhosh, A., & Schaffer, B. (2024). Achachairú (*Garcinia humilis*) Fruit Trees: Botany and Commercial Cultivation in South Florida. *UF IFAS Extension University of Florida*, HS1480. <https://doi.org/10.32473/edis-HS1480-2024>
- Sari, N., Katanasaka, Y., Sugiyama, Y., Miyazaki, Y., Sunagawa, Y., Funamoto, M., Shimizu, K., Shimizu, S., Hasegawa, K., & Morimoto, T. (2021). Alpha Mangostin Derived from *Garcinia mangostana* Linn Ameliorates Cardiomyocyte Hypertrophy and Fibroblast Phenotypes in Vitro. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 44(10), 1465–1472. <https://doi.org/10.1248/bpb.b21-00294>
- Sdoodee, S., Phonrong, K., & Ruongying, Y. (2008). Mangosteen crop load affects physiological responses, fruit yield and fruit quality. *Acta Hort.*, 773, 187–194. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.773.27>
- Siegel, B.Z. (1993). Plant peroxidases –an organismic perspective. *Plant Growth Regulation*, 12, 303-312. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00027212>
- Sinaga, S., Sobir, S., Poerwanto, R., Aswidinnoor, H., & Dedy Duryadi, D. (2010). Genetic Diversity and The Relationship Between The Indonesian Mangosteen (*Garcinia mangostana*) and The Related Species Using Isozyme Markers. *Jurnal Natur Indonesia*, 13(1), 53-58. <http://dx.doi.org/10.31258/jnat.13.1.53-58>
- Suriati, L. (2023). Evaluation of the Quality of Fresh-Cut Mango, Mangosteen and Rambutan Under Cold Storage. *Journal of Agriculture and Crops*, 9(1), 62-69. <https://doi.org/10.32861/jac.91.62.69>
- Tac-an, A.M.I., Lacap, A.T., Bayogan, E.R.V., & Lubaton, C.D.S. (2021). Postharvest Quality of Two Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Fruit Maturities Held in Ambient and CoolBot-equipped Cold Storage. *Journal of Science, Engineering and Technology (JSET)*, 9(1), 48–60. <https://doi.org/10.61569/n49qq233>



- Tadmor, Y., Burger, J., Yaakov, I., Feder, A., Libhaber, S.E., Portnoy, V., Meir, A., Tzuri, G., Sa'ar, U., & Rogachev, I. (2010). Genetics of flavonoid, carotenoid, and chlorophyll pigments in melon fruit rinds. *J. Agric. Food Chemical*, 58(19), 10722–62810728. <https://doi.org/10.1021/fi1021797>
- Terán-Erazo, B., Alia-Tejacal, I., Balois-Morales, R., Juárez-López, P., López-Guzmán, G.G., Pérez-Arias, G.A., & Núñez-Colín, C.A. (2019). Caraterización física, química y morfológica de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Agrociencia*, 53(7), 1013-1027. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1860>
- Tiang, N., Ahad, M.A., Murugaiyah, V., & Hassan, Z. (2020). Xanthone-enriched fraction of *Garcinia mangostana* and α-mangostin improve the spatial learning and memory of chronic cerebral hypoperfusion rats. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 72(11), 1629–1644. <https://doi.org/10.1111/jphp.13345>
- Tsan, F.Y. (2022). Regeneration of *Garcinia mangostana* L. with Cut Seeds. In Che-Husin, N.M., Mohd-Roseli, A.N., Sekeli, R., Othman, R., Osman, N., Aishah-Hassan, S. Plant Resilience and Productivity in New Environmental Era. (pp.149-154). Ed. Trans. Malaysian Soc. Plant Physiol.
- Ward, J.H. Jr. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. American Stat. Assoc.*, 58, 236-244 pp. <https://doi.org/10.2307/2282967>
- Yani, F., Bellastasie, R., & Fauziah, F. (2021). Antidiabetic Potential of *Garcinia mangostana* Extract and α-Mangostin Compounds from Mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.). *EAS Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 3(5), 95–105. <https://doi.org/10.36349/easjpp.2021.v03i05.001>
- Yao, T.L., Nazre, M., McKey, D., Jalon, R., & Duminil, J. (2023). The origin of cultivated mangosteen (*Garcinia mangostana* L. var. *mangostana*): Critical assessments and an evolutionary-ecological perspective. *Ecology and Evolution*, 13(3), article e9792. <https://doi.org/10.1002/ece3.9792>