



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS CAMPUS V



**Caracterización poscosecha de frutos de mangostán *Garcinia mangostana* L.
en tres localidades de la región Soconusco en Chiapas.**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL

presenta

ALEXIS EDUARDO MARTÍNEZ RODRÍGUEZ J141020

Director de tesis

DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES

Codirector de tesis

DR. IRAN ALIA TEJACAL

Villaflores, Chiapas; enero de 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS C-V
DIRECCIÓN



Villaflores, Chiapas
27 de enero de 2025
Oficio N° D/040/25

C. Alexis Eduardo Martínez Rodríguez
Maestrante en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical
de la Facultad de Ciencias Agronómicas *Campus V*
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **"Caracterización poscosecha de frutos de mangostán *Garcinia mangostana* L. en tres localidades de la región Soconusco en Chiapas"**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

Atentamente
"Por la Conciencia de la Necesidad de Servir"


M. C. Carlos Alberto Velázquez Sanabria
Director

C. c. p. Archivo

CAVS*marh.

Carretera Ocozocoautla – Villaflores Km. 84.5 Apartado Postal 78, C.P. 30470 Villaflores, Chiapas; México.
Tel/Fax 01 965 65 2 14 77 y 5 32 72 www.unach.mx, fac.agronomicas@unach.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, CAMPUS V.
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



Villaflores, Chiapas
30 de mayo de 2023
Oficio N° CIP/206/23

DR. IRÁN ALIA TEJACAL

DOCENTE INVESTIGADOR DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE MORELOS (UAEM).
P R E S E N T E.

Atendiendo el interés del **C. Ing. Alexis Eduardo Martínez Rodríguez**, por realizar su trabajo de tesis de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical, titulada: **"Caracterización poscosecha de frutos de mangostán (*Garcinia mangostana* L.) en tres localidades de la región Soconusco en Chiapas"**, dentro de las líneas de investigación que se desarrollan en nuestra Universidad, la Coordinación de Investigación y Posgrado, a mi cargo, tiene a bien nombrarlo **CO-DIRECTOR EXTERNO DE TESIS** en el mencionado trabajo.

Por ello, le exhorto a llevar con entusiasmo el seguimiento de dicho trabajo para su exitosa culminación.

ATENTAMENTE

"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"

DR. RAMIRO ELEAZAR RUIZ NAJERA
COORDINADOR.



C.c.p. INTERESADO
ARCHIVO

RERN*ymc



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

La alumna (s) o él alumno (s) Alexis Eduardo Martínez Rodríguez, autora (s) o autor (es) de la tesis bajo el título de Caracterización poscosecha de frutos de mangostán *Garcinia mangostana* L. en tres localidades de la región Soconusco en Chiapas presentada y aprobada en el año 2025 como requisito para obtener el título o grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 25 días del mes de Enero del año 2025.


Alexis Eduardo Martínez Rodríguez
Nombre y firma de la alumna (s) o él alumno (s)

DEDICATORIA

A mi madre, Leticia Rodríguez Loera (†), esta meta y todas las que logre a futuro son con dedicatoria especial para ti; donde quiera que estés sé que estás orgullosa de verme alcanzar por fin este paso que tantas veces platicamos que haría, faltan más obstáculos que sobrepasar y sé que tu aura estará presente en cada momento para guiarme, gracias por lo que me diste y me enseñaste, gracias por ser la madre que fuiste, gracias por todo, te extraño y te amo.

A mi padre, Justo Martínez Uriegas, porque siempre has creído en mí, por darme todo el apoyo que has podido darme, me diste el ejemplo del trabajo duro y de que nada es fácil en esta vida, gracias por todo.

A mi hija, Ámbar Saori, otro logro más que podemos compartir juntos, llegaste como una luz en mi vida que me ha enseñado a ser mejor en todos los ámbitos, cambiaste mi vida por completo de la mejor manera posible, este y todos mis logros son tuyos porque eres el motor más grande en mi vida.

A mi sobrina, Diana Leticia, eres una pieza clave en mi formación como persona y padre, siempre estaré para ti en todo lo que necesites, espero ser un buen ejemplo para tu desarrollo personal, todos mis logros también son tuyos.

A mi querida esposa, Paola Gutiérrez, gracias por siempre creer en mí, gracias por ser la mejor madre para Saori, por ser la mejor pareja que pude haber imaginado; tu confianza, amor, comprensión y apoyo que me has brindado son cosas incomparables.

A mi amigo, Shalik Noé, Gracias por todos estos años de amistad, con altas y bajas, pero siempre al pie del cañón, tu apoyo incondicional, tus consejos, confianza y los buenos ratos que hemos pasado son invaluable, espero que la vida nos regale muchos años más de amistad.

A mi amigo, José Gabriel (†), donde quiera que estés, estoy orgulloso de decir que fuimos amigos por más de 10 años, gracias por todas tus enseñanzas, siempre fuiste una persona que contagiaba a los demás con tu sentido del humor, fuiste un excelente amigo, hermano, hijo y sobre todo persona, te voy a extrañar amigo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología – CONAHCYT, por otorgarme la beca de maestría (1200341) que permitió haber culminado este grado académico.

A la Universidad Autónoma de Chiapas – UNACH, por albergarme dentro de sus instalaciones, por los conocimientos y experiencias adquiridas.

A la Universidad Autónoma del Estado de Morelos – Facultad de Ciencias Agropecuarias, por abrirme las puertas, por recibirme en sus instalaciones, por el conocimiento y apoyo otorgado, este trabajo no sería posible sin su colaboración.

Mi especial agradecimiento a mi director y codirector de tesis: el Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes y el Dr. Irán Alia Tejacal, de quienes he aprendido mucho, gracias por la confianza, el apoyo, la asesoría, por su dedicación y conocimientos brindados; por sus enseñanzas como docentes, personas y, sobre todo, por su amistad; son un ejemplo para mí en todos los rubros.

A la Técnico académico Alyn Mariana Palacios Sosa, por su paciencia y enseñanzas dentro del laboratorio en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UAEM.

A los productores de mangostán de los municipios de Huehuetán, Tuxtla Chico y Tapachula que brindaron los frutos para esta investigación, el Ing. Rubén Joo, el Sr. Sandalio Quesada y el Ing. Antonio Vallejo.

A los docentes que me impartieron sus conocimientos durante la maestría, gracias a todos.

A mi comité de asesores, en especial al Dr. Juan Francisco Aguirre Medina y a la Dra. Gloria Alicia Pérez Arias, gracias por sus conocimientos brindados y su apoyo.

A “las chicas del laboratorio”, Lizette, Goretti y Arantxa por su amistad y apoyo otorgado durante mi estancia en Cuernavaca.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xviii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo general	3
1.1.2 Objetivos específicos:	3
1.2 Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Origen y Distribución.....	4
2.2 Requerimientos ambientales del mangostán	5
2.2.1 Estados productores en México.....	5
2.2.2 Potencial productivo para Mangostán en el estado de Chiapas	5
2.3 Usos del mangostán	8
2.4 Característica del fruto	8
2.5 Poscosecha del fruto.....	9
2.5.1 Índice de madurez y parámetros de calidad	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1 Localización Geográfica del Sitio de Estudio	11
3.2 Organización experimental	11
3.3 Duración del experimento	12

3.4 Descripción de unidades y diseño experimentales	13
3.5 Variables evaluadas	13
3.5.1 Variables físicas-morfológicas	13
3.5.1.1 Proporción de las estructuras del fruto	13
3.5.1.2 Color del fruto	14
3.5.1.3 Pérdida de peso	14
3.5.1.4 Firmeza del fruto.....	14
3.5.2 Variables fisiológicas	14
3.5.2.1 Velocidad de respiración y producción de etileno.....	14
3.5.3 Variables bioquímicas y actividad antioxidante.....	15
3.5.3.1 Sólidos solubles totales en pulpa	15
3.5.3.2 Acidez Titulable en pulpa.....	15
3.5.3.3 Índice de Sabor en pulpa.....	15
3.5.3.4 Azúcares totales en pulpa	16
3.5.3.5 Fenoles totales en pulpa y cáscara	16
3.5.3.6 Extracción y cuantificación de antocianinas en cáscara.....	17
3.5.3.7 Determinación de la capacidad antioxidante por el método actividad del radical 1,1 -difeníl, 2-picrylhidrazyl (DPPH).....	18
3.5.3.8 Capacidad antioxidante por el método ABTS	18
3.5.3.9 Capacidad antioxidante de potencial de reducción férrica (FRAP)..	19
3.6 Análisis estadístico.....	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1 Variables físicas-morfológicas	21
4.1.1 Proporción de las estructuras del fruto	21

4.1.2 Color de fruto	24
4.1.3 Pérdida de Peso y Firmeza.....	29
4.2 Variables Fisiológicas	32
4.2.1 Velocidad de respiración y producción de etileno.....	32
4.3 Variables Bioquímicas.....	34
4.3.1 Sólidos solubles totales, acidez titulable, índice de sabor y azúcares totales	34
4.3.2 Fenoles totales en pulpa y cáscara.....	39
4.3.3 Extracción y cuantificación de antocianinas.....	42
4.3.4 Determinación de la capacidad antioxidante por los métodos DPPH, ABTS y FRAP en pulpa y cáscara	45
5. CONCLUSIÓN.....	53
6. LITERATURA CITADA	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Condiciones edafoclimaticas para el cultivo de mangostán.....	5
Cuadro 2. Superficie con potencial productivo para el mangostán en el estado de Chiapas.	7
Cuadro 3. Valor nutricional de la pulpa del mangostán.	9
Cuadro 4. Descripción de unidades experimentales por tipos de variables utilizados en este estudio	13
Cuadro 5. Promedio de las estructuras analizadas del fruto de mangostán (<i>Garcinia mangostana</i>). cultivados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas.	22
Cuadro 6. Coeficiente de correlación de Pearson entre la masa del fruto y las proporciones de semillas analizadas.....	23
Cuadro 7. Porcentaje de proporción de peso de pulpa, cáscara y semilla de frutos de mangostán (<i>Garcinia mangostana</i>) cultivados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas.	23
Cuadro 8. Promedio de 10 frutos de Luminosidad (L), Cromaticidad (C) y Matiz (H) en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas.	25
Cuadro 9. Promedio de Pérdida de Peso y Firmeza en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas	29
Cuadro 10. Promedio de producción de etileno y CO ₂ en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas.	32
Cuadro 11. Promedio de SST, AT, IS y Azúcares totales en frutos de mangostán (<i>Garcinia mangostana</i>) cosechados en tres localidades de la región Soconusco, Chiapas.	35
Cuadro 12. Coeficiente de correlación de Pearson entre SST, AT, AZUT e IS.....	37

Cuadro 13. Fenoles totales en pulpa y epidermis de frutos de mangostán (<i>Garcinia mangostana</i> L.) cosechados en tres localidades de la región Soconusco, Chiapas.	42
Cuadro 14. Niveles promedios de antocianinas monoméricas (mg de cianidina-3-glucósido equivalente L ⁻¹) en epidermis de frutos de mangostán (<i>Garcinia mangostana</i> L.) cosechados en tres localidades de la región Soconusco, Chiapas.	43
Cuadro 15. Actividad antioxidante en pulpa y epidermis de fruto de mangostán (<i>Garcinia mangostana</i> L.) cosechados en tres localidades de la región Soconusco, Chiapas.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Potencial productivo para el cultivo del mangostán en el estado de Chiapas. Fuente: Díaz et al., 2011.	6
Figura 2. Promedio anual de frutos árbol ⁻¹ y total de frutos años ⁻¹ de <i>Garcinia mangostana</i> L. En sus primeros 4 años de producción en Tuxtla Chico, Chiapas. (Díaz et al., 2019).....	7
Figura 3. Dinámica de luminosidad (L*) de la epidermis en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 10 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).....	26
Figura 4. Dinámica de cromaticidad (C*) de la epidermis en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 10 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).....	27
Figura 5. Dinámica de matiz (h) de la epidermis en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 10 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	28
Figura 6. Dinámica de Pérdida de Peso en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 10 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	30
Figura 7. Firmeza de la epidermis de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	31
Figura 8. Producción de CO ₂ en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 5 repeticiones	

y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	33
Figura 9. Producción de etileno en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 5 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	34
Figura 10. Dinámica de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) durante la poscosecha de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	35
Figura 11. Dinámica de acidez titulable (%) en pulpa durante la poscosecha de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	36
Figura 12. Dinámica de índice de sabor de la pulpa durante la poscosecha de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	38
Figura 13. Dinámica de azúcares totales durante la poscosecha de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	39
Figura 14. Dinámica de fenoles totales mg EAG 100 g ⁻¹ de peso fresco de pulpa de frutos de mangostán durante la poscosecha cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error	

estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	40
Figura 15. Dinámica de fenoles totales mg EAG 100 g ⁻¹ de peso fresco de epidermis de frutos de mangostán durante la poscosecha cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba ($P \leq 0.05$).	41
Figura 16. Dinámica de antocianinas monoméricas (mg L ⁻¹ equivalente de cianidina-3-glucósido) durante la poscosecha de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	44
Figura 17. Dinámica de DPPH mg EAA 100 g ⁻¹ de pulpa de frutos de mangostán durante la poscosecha; cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	45
Figura 18. Dinámica de DPPH mg EAA 100 g ⁻¹ de cáscara de frutos de mangostán durante la poscosecha cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	47
Figura 19. Dinámica de ABTS mg EAA 100 g ⁻¹ de pulpa de frutos de mangostán durante la poscosecha; cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).	48
Figura 20. Dinámica de ABTS mg EAA 100 g ⁻¹ de cáscara de frutos de mangostán durante la poscosecha cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas.	

Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)..... 49

Figura 21. Dinámica de FRAP mg EAA 100 g^{-1} de pulpa de frutos de mangostán durante la poscosecha cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)..... 50

Figura 22. Dinámica de FRAP mg EAA 100 g^{-1} de cáscara de frutos de mangostán durante la poscosecha; cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)..... 51

RESUMEN

El fruto de *Garcinia mangostana* L. es un cultivo proveniente del sureste asiático, en México se encuentran escasas plantaciones con crecimiento constante en los estados de Veracruz, Jalisco y Chiapas, donde en la región del Soconusco se encuentra más del 90% de la superficie cultivada en México. El fruto de mangostán ha crecido en los mercados internacionales por su increíble sabor, textura, facilidad de transporte y vida de anaquel larga, además, contiene biomoléculas con gran capacidad antioxidante ocasionando interés en la industria farmacéutica. En la región del Soconusco, Chiapas, se ha determinado potencial productivo muy importante por las condiciones agroclimáticas de la región los cuales favorecen altamente a este cultivo, pero los estudios de este fruto son nulos en la región. Por lo que se planteó como objetivo analizar características poscosecha del fruto de mangostán provenientes de tres localidades: Huehuetán, Tuxtla Chico y Tapachula de la región Soconusco. De 10 árboles por localidad se cosecharon 7 frutos en madurez fisiológica por árbol para evaluar parámetros físico-morfológicos, fisiológicos y bioquímicos. Los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y 70% H.R. Las variables no destructivas se analizaron diariamente de 0 a 14 d después de su cosecha y las destructivas a los 0, 3, 6, 9 y 12 d. Los frutos de *G. mangostana* mostraron tendencia entre rojo y morado, con baja luminosidad y opacos. Los frutos de Tapachula presentaron mayor masa de fruto y pulpa, mayor firmeza, azúcares totales, compuestos fenólicos en pulpa, menor tasa de respiración y pérdida de peso. Huehuetán destacó con mayores sólidos solubles, índice de sabor, antocianinas en cáscara, mayor actividad de captura por ABTS en pulpa y FRAP en pulpa y cáscara. Tuxtla Chico presentó la menor acidez en pulpa, la mayor cantidad de compuestos fenólicos en cáscara, la mayor actividad de captura en cáscara por ABTS y DPPH en pulpa y cáscara. Tapachula presentó mejores características físico-morfológicas y fisiológicas para la industria alimentaria, mientras que, Huehuetán y Tuxtla Chico destacaron en las bioquímicas para la industria farmacéutica; se corroboró que la cáscara cuenta con moléculas altamente potenciales para su aprovechamiento y explotación. Los frutos de *G. mangostana* cultivados en el Soconusco muestran potencial antioxidante y calidad física-

morfológica, fisiológica y bioquímica para uso en la industria alimentaria y farmacéutica.

Palabras clave: Caracterización física-morfológica, azúcares totales, antocianinas, actividad antioxidante, fenoles.

ABSTRACT

The *Garcinia mangostana* L. fruit is a crop from Southeast Asia. In Mexico there are few plantations with constant growth in the states of Veracruz, Jalisco, and Chiapas, where more than 90% of the cultivated surface in Mexico is found in the Soconusco region. The mangosteen fruit has grown in international markets for its incredible flavor, texture, ease of transport and long shelf life. In addition, it contains biomolecules with great antioxidant capacity, causing interest in the pharmaceutical industry. In the Soconusco region, Chiapas, a very important productive potential has been determined due to the agroclimatic conditions of the region which highly favor this crop, but studies of this fruit are null in the region. Therefore, the objective was to analyze post-harvest characteristics of the mangosteen fruit from three locations: Huehuetán, Tuxtla Chico and Tapachula in the Soconusco region. From 10 trees per location, 7 fruits were harvested at physiological maturity per tree to evaluate physical-morphological, physiological, and biochemical parameters. The fruits were stored at room temperature $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ and 70% R.H. Non-destructive variables were analyzed daily from 0 to 14 d after harvest and destructive variables at 0, 3, 6, 9 and 12 d. *G. mangostana* fruits showed a tendency between red and purple, with low luminosity and opaque. Tapachula fruits presented greater fruit and pulp mass, greater firmness, total sugars, phenolic compounds in pulp, lower respiration rate and weight loss. Huehuetán stood out with higher soluble solids, flavor index, anthocyanins in peel, higher ABTS capture activity in pulp and FRAP in pulp and peel. Tuxtla Chico had the lowest acidity in pulp, the highest amount of phenolic compounds in peel, the highest capture activity in peel by ABTS and DPPH in pulp and peel. Tapachula had better physical-morphological and physiological characteristics for the food industry, while Huehuetán and Tuxtla Chico stood out in biochemical characteristics for the pharmaceutical industry; it was confirmed that the peel has highly potential molecules for its use and exploitation. The fruits of *G. mangostana* grown in Soconusco show antioxidant potential and physical-morphological, physiological, and biochemical quality for use in the food and pharmaceutical industry.

Keywords: Physical-morphological characterization, total sugars, anthocyanins, antioxidant activity, phenols.

1. INTRODUCCIÓN

El fruto de mangostán (*Garcinia mangostana* L), es una fruta climatérica de origen tropical de la familia *Clusiaceae* (*Guttiferae*) cultivado en el sureste asiático. En Centro y Sur América existen escasas plantaciones comerciales, debido a que es un frutal de producción tardía para la primera cosecha (8 a 10 años). No obstante, es una especie promisoría por su excelente calidad y alta demanda en los mercados nacionales e internacionales.

Actualmente las plantaciones más grandes se localizan en Sri Lanka, Tailandia, Filipinas, India, China, los países donde existen pequeñas plantaciones son; Australia, Hawái, Ghana, Puerto Rico, Trinidad y Tobago, Jamaica, República Dominicana, Cuba, Honduras, Panamá, Sur de florida, Costa Rica, Brasil, Guatemala y México. Los principales productores mundiales de la fruta son los países asiáticos, destacándose entre ellos Tailandia, Malasia, Filipinas e Indonesia.

Según la FAO (2022), las exportaciones de Tailandia, el principal productor de mangostán a los mercados mundiales en 2021 fue de 376 000 toneladas, los datos para 2021 muestran un aumento en los valores unitarios de exportación promedio del 29% a US 2,119 por tonelada.

Chiapas se caracteriza por ser un estado con gran biodiversidad para la producción de recursos primarios, por lo que es necesario fortalecer su productividad, exportación e industrialización para competir a nivel mundial aprovechando las nuevas demandas de consumo de productos naturales que genera el mercado internacional. Chiapas cuenta con una amplia y variada gama de productos agrícolas, entre ellos el mangostán, si se le lograra dar el valor agregado que corresponde se generarían nuevas plazas de trabajo, incrementando así su economía.

Díaz *et al.* (2011) realizaron un estudio de potencial productivo para mangostán en el estado de Chiapas. Dicho estudio describe a nivel de estado, municipio y localidad la superficie con alto, medio y bajo potencial productivo para la especie. Los resultados del estudio señalan a la región Soconusco con la mayor parte de la

superficie (321,217 ha) con potencial alto y medio. En este sentido, por las condiciones agroclimáticas, se direcciona a la región Soconusco como la mayor productora de mangostán en los próximos años.

En los últimos años se ha generado un creciente interés en la búsqueda de productos alimenticios con antioxidantes fitoquímicos, que contribuyan a inhibir o controlar la propagación de reacciones de radicales libres, y a su vez proteger las células; el pericarpio del fruto del mangostán es muy rico en estos antioxidantes, entre las que podemos incluir catequinas, compuestos polifenólicos (mayoritariamente flavonoides, taninos y antocianinas). Además de los compuestos citados, el mangostán es una fuente muy rica en Xantonas, sustancias de naturaleza fenólica que difícilmente son aisladas en otras frutas, todos estos compuestos son aliados para la salud humana, pues en estudios recientes se ha encontrado que estos antioxidantes son anticancerígenos, tienen actividad antidiabética, contra la obesidad, previenen enfermedades cardiovasculares, generan un efecto protector en la prevención en los procesos degenerativos de enfermedades cancerígenas y tienen potencial para prevenir la pérdida de memoria y enfermedades neurodegenerativas.

Las diferentes condiciones agroclimáticas en las que se encuentra el mangostán en la región Soconusco, lleva a pensar en la influencia sobre el contenido de antioxidantes presentes en el fruto. Por ello, el desarrollo de esta investigación permite la caracterización poscosecha y determinación de capacidad antioxidante del fruto de mangostán, relacionada a las condiciones presentes a diferentes gradientes altitudinales en el que se desarrolla el cultivo, conocer la calidad y poder determinar a futuro el manejo poscosecha para comercializar el fruto.

Aunque en México se ha incrementado la superficie del cultivo, no se ha investigado sobre las características poscosecha del fruto, por lo que en el presente trabajo se pretende analizar dichas características en los frutos de mangostán (*Garcinia mangostana* L), en los municipios de Tapachula, Tuxtla Chico y Huehuetán de la región Soconusco en Chiapas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Analizar las características poscosecha, físico-morfológicas, fisiológicas y bioquímicas del fruto de mangostán (*Garcinia mangostana* L.) provenientes de tres diferentes gradientes altitudinales de la región Soconusco en Chiapas, para determinar la calidad del fruto en diferentes condiciones agroclimáticas.

1.1.2 Objetivos específicos:

- a) Realizar la caracterización físicas-morfológicas de frutos del mangostán provenientes de Huehuetán, Tuxtla Chico y Tapachula
- b) Realizar la caracterización fisiológica de frutos del mangostán provenientes de Huehuetán, Tuxtla Chico y Tapachula
- c) Realizar la caracterización bioquímica y actividad antioxidante de frutos del mangostán provenientes de Huehuetán, Tuxtla Chico y Tapachula

1.2 Hipótesis

Existe diferencia en las características físicas-morfológicas del fruto de mangostán producidos en diferentes condiciones agroclimáticas en la región Soconusco en Chiapas.

Hay variedad en las características fisiológicas del fruto de mangostán producidos en diferentes condiciones agroclimáticas en la región Soconusco en Chiapas.

Las características bioquímicas y actividad antioxidante del fruto de mangostán producidos en diferentes condiciones agroclimáticas en la región Soconusco en Chiapas presentan diferencias.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El nombre de *Garcinia* se otorgó en el siglo XVIII en honor a Laurent Garcin, destacado botánico y naturalista francés (Yaacob y Tindall, 1995). 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* L), 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” (Aizat *et al.*, 2019a).

2.1 Origen y Distribución.

El mangostán es originario de Tailandia y Birmania, pues en esos países se cultiva en grandes extensiones desde hace muchos años. En el año 1800 la especie fue plantada por primera vez en Ceilán, en 1881 en la India. Posteriormente la especie se cultivó en las Filipinas (Morton, 1987).

El mangostán se introdujo al continente americano a través de las islas del caribe, concretamente en la isla de Trinidad. Las primeras plantas introducidas procedían del jardín botánico real de Kew, Inglaterra, y llegaron entre los años 1850 y 1860. En 1903 la especie pasó a Puerto Rico y posteriormente se introdujo en Panamá (Morton, 1987).

En 1927 el mangostán se introdujo al jardín botánico de Lancetilla, Honduras, y de ahí se dispersó por los restantes países centroamericanos (Morton, 1987).

A México, el Mangostán fue introducido a finales de la década de los 60's a partir de semillas obtenidas de frutos provenientes de Malasia al campo experimental “El Palmar” localizado en el municipio de Tezonapa, Veracruz, y dependiente del entonces Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), hoy Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Con semillas provenientes de la plantación establecida en el Campo Experimental El Palmar, en el año 2010 se establecieron 2 hectáreas en el campo experimental

Rosario Izapa, INIFAP-Pacífico sur, ubicado en el municipio de Tuxtla Chico, Chis (Díaz *et al.*, 2011).

2.2 Requerimientos ambientales del mangostán

El mangostán es un cultivo eminentemente tropical, donde las condiciones de temperatura y humedad relativa son las adecuadas para el desarrollo de esta especie (Díaz *et al.*, 2011), en el cuadro 1 se señalan los requerimientos ambientales para el cultivo.

Cuadro 1. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de mangostán.

Variable	Valores o condición
Altitud	0 – 600 m
Precipitación anual	Mayor de 1270 mm
Humedad relativa	Mayor de 80 %
Temperatura media anual (°C)	24 – 35 °C
Pendiente	0 – 12
Suelos	Con alto contenido de materia orgánica y buen drenaje.
pH	5 – 6.5

Fuente: Almeyda y Martín (1978); Nakasone y Paull (1998); Dede Juanda y Bambang Cahyono, (2000); Díaz y Díaz (2011).

2.2.1 Estados productores en México

En México son pocas las zonas donde existen el desarrollo comercial del mangostán actualmente se cultivan solo en los estados de Chiapas y Veracruz y recientemente en el estado de Jalisco, ya se cuenta con las primeras 10 hectáreas establecidas de este cultivo de manera experimental (Rueda *et al.*, 2014).

2.2.2 Potencial productivo para Mangostán en el estado de Chiapas

Aun y cuando no existen estadísticas oficiales, se estima que, en la región del Soconusco, Chiapas, se concentra el 98% de la superficie sembrada con mangostán de México (720 ha), principalmente en Tapachula, Tuxtla Chico,

Huehuetan y Cacahoatán (Díaz y Díaz, 2011). La mayor parte de la superficie sembrada son plantaciones recientes (2013-2017) que iniciaron su vida productiva en el periodo 2019-2023 (Díaz *et al.*, 2019).

Díaz *et al.* (2011), realizaron el estudio de potencial productivo para mangostán en el estado de Chiapas. Dicho estudio describe a nivel de Estado, Municipio y Localidad la superficie con Alto y Mediano potencial productivo para la especie, como se presenta en la figura 1. Los resultados del estudio indican que en el estado de Chiapas existen 621,402 ha con alto potencial productivo para mangostán y 382,294 ha con potencial medio que representan el 8.4 y 5.2 % respectivamente de la superficie total estatal, como se puede observar en el cuadro 2.

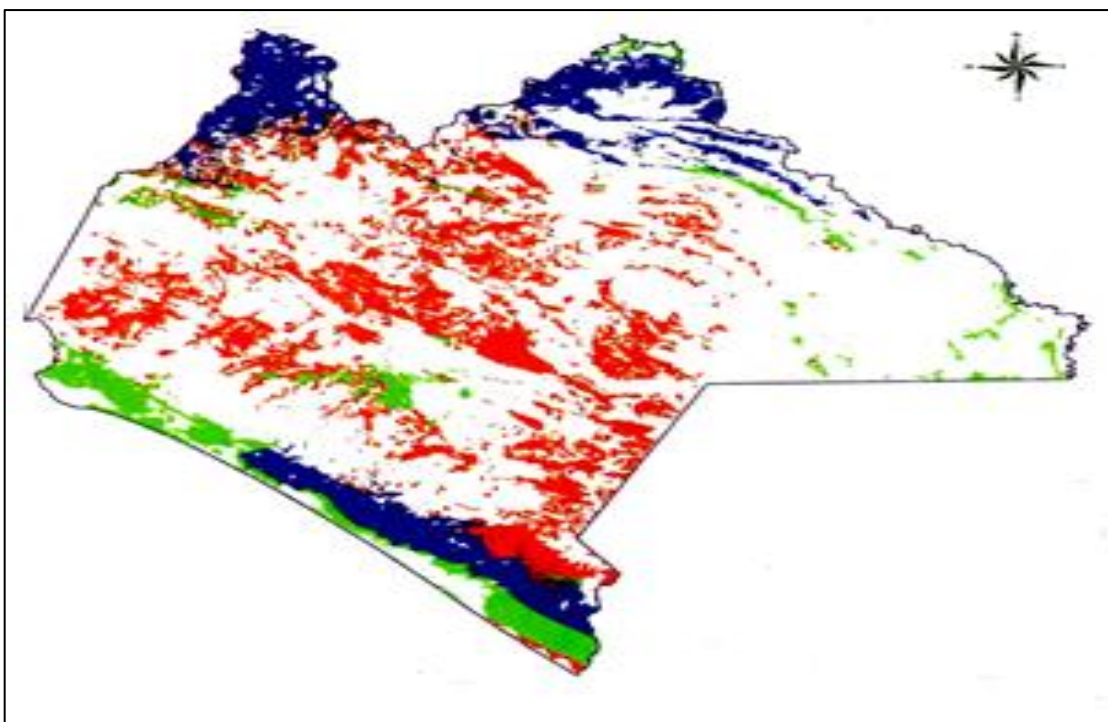


Figura 1. Potencial productivo para el cultivo del mangostán en el estado de Chiapas. Fuente: Díaz *et al.*, 2011.

Cuadro 2. Superficie con potencial productivo para el mangostán en el estado de Chiapas.

Potencial productivo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Alto	621,402	8.4
Medio	382,294	5.2
Bajo	1,205,963	16.4
No apto	5,147,898	70.0
Total	7,357,582	100.00

(Díaz *et al.*, 2011).

En Tuxtla chico, en el campo experimental Rosario Izapa (perteneciente al INIFAP) se reportaron 25,226 frutos cosechados en el año 2018, con un promedio de 146 frutos por árbol (Figura 2), estas cifras corresponden a los cuatro primeros ciclos de producción del cultivo. Los resultados demuestran que en sus etapas iniciales el rendimiento del mangostán en el área de estudio es similar y en algunos casos superior al obtenido en otros países productores como Indonesia y Malasia (Díaz *et al.*, 2019).

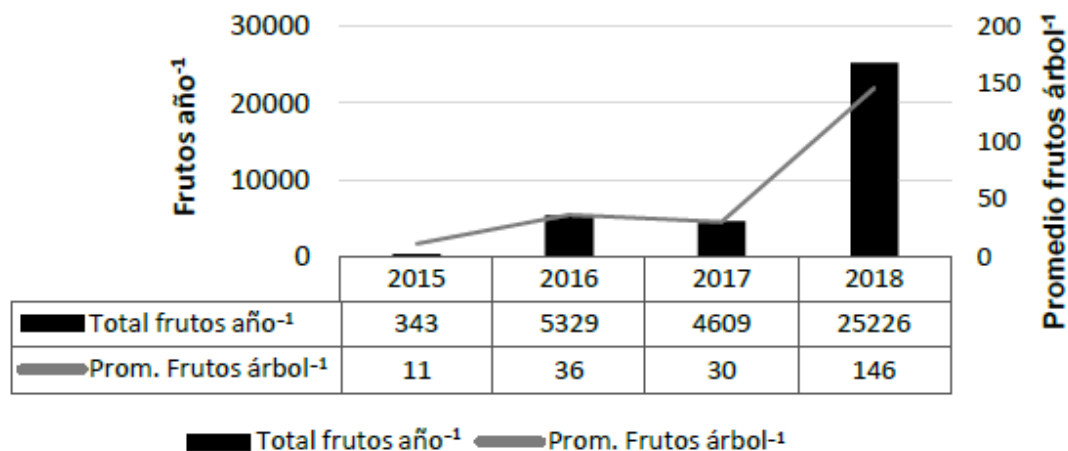


Figura 2. Promedio anual de frutos árbol⁻¹ y total de frutos años⁻¹ de *Garcinia mangostana* L. En sus primeros 4 años de producción en Tuxtla Chico, Chiapas. (Díaz *et al.*, 2019)

2.3 Usos del mangostán

El mangostán puede consumirse en fresco, de igual forma, sirve para realizar productos como dulces, vinos o consumirlo como fruta en conserva (Orozco y Sánchez, 2019). En países como Filipinas, Malasia y Tailandia se utiliza el pericarpio del fruto para medicina tradicional (Cui et al., 2010), debido a que presenta propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerosas dentro de sus compuestos fenólicos (Karthiga, 2018). Entre los usos característicos de la cáscara de mangostán se encuentran, tratamiento de problemas gastrointestinales, infección en el tracto urinario y úlceras (Abood et al., 2020). Además, el fruto ha incrementado su popularidad por su uso como producto nutraceutico, debido a los diferentes beneficios para la salud (Yeong et al., 2020).

Uno de los compuestos más abundantes contenido en el tejido del mangostán es la α -mangostina, que se sabe que tienen muchas funciones terapéuticas, como antitumoral o anticancerígena (Bissoli y Muscari, 2020; Santhanakrishnan *et al.*, 2020), antidepresivo (Lotter *et al.*, 2020) y antiviral (Patil *et al.*, 2021)

2.4 Característica del fruto

El arilo constituye la porción comestible del mangostán, representa el 20-30% del peso total del fruto (Nakasone y Paull, 1998). Contiene un alto porcentaje de carbohidratos en forma de azúcares, presenta una textura blanda de color blanco de sabor levemente ácido (Machado *et al.*, 2018), dicho fruto cuenta con gran diversidad de minerales y vitaminas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valor nutricional de la pulpa del mangostán.

Composición nutricional en 100 g de pulpa	
Agua	79.2-84.9 %
Calorías	60-81
Proteínas	0.5-0.7(g %)
Grasa	0.1-0.8%
Carbohidratos	14.3-19.8 %
Azúcares totales	17.5-18.8 %
Azúcares reductores	2.2-4.3 %
Fibra	0.3-5.1 %
Ceniza	0.2-0.23
Calcio	0.01-18 %
Fósforo	0.02-17.0 %
Hierro	0.2-0.9 %
Zinc	0.12-0.21 mg
Vitamina A	0-14 µg
Tiamina (Vitamina B12)	0.03-0.09 %
Rivoflavina (Vitamina B2)	0-0.06 %
Niacina (Vitamina B3)	0-0.01 %
Vitamina C	1.0-66.0 %
Ácido fólico	31 µg
Criptoxantina	9 µg
β-caroteno	16 µg

Kanchanapom and Kanchanapom (1998); Machado *et al.*, (2018).

2.5 Poscosecha del fruto

Según Kader (2013), los requerimientos a considerar para el manejo poscosecha del fruto de mangostán son:

Tasas de Respiración: 6–10 ml CO₂ kg⁻¹·h⁻¹ a 20°C (68°F); el patrón de respiración es climatérico. Para calcular el calor producido multiplique los ml CO₂/kg⁻¹·h⁻¹ por 440 para obtener Btu/t⁻¹/d⁻¹ o por 122 para obtener kcal/t m⁻¹/d⁻¹.

Tasa de Producción de Etileno: 3–30 µL C₂H₄/kg⁻¹·h⁻¹ a 20°C (68°F).

Respuesta a Etileno: Dejar los frutos expuestos a 100 ppm de etileno por 24 horas 20°C (68°F) acelera la madurez de consumo del fruto (el color cambia ha morado oscuro y la pulpa se vuelve blanda).

Respuesta a Atmósferas Controladas (AC): La limitada información publicada indica que una AC de 5% O₂ + 5 a 10% CO₂ es útil para almacenar los frutos hasta 4 semanas.

2.5.1 Índice de madurez y parámetros de calidad

Según Kader (2013), define índice de madurez y parámetros de calidad del fruto de mangostán de la siguiente manera:

Índices de Madurez: El cambio en el color de la piel a rojizo-morado es el principal índice de madurez del mangostán. El fruto tiene un cáliz rígido y se cosecha con el pedúnculo. La pulpa se separa de la cáscara cuando el fruto está maduro.

Parámetros de calidad: La calidad del fruto de mangostán está determinado por tamaño del fruto, forma, color, ausencia de defectos (agrietamientos en la piel y manchas, quemaduras por látex, daños causados por insectos), pulpa de color blanca, suave, jugosa, contenido de sólidos solubles entre 17 a 20% y la acidez titulable de 0.7 a 0.8% (pH = 4.5 a 5.0).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización Geográfica del Sitio de Estudio

El área de estudio comprendió los municipios de Huehuetán, Tapachula y Tuxtla Chico, Chiapas. Se seleccionaron tres sitios de colecta de acuerdo con los rangos altitudinales bajo en un rango de 0 a 300 msnm, en el municipio de Huehuetán; medio de 300 a 600 msnm, en el municipio de Tuxtla Chico y alto mayor de 600 msnm, en el municipio de Tapachula, en el que se encuentran parcelas con producción de mangostán.

Huehuetán: el municipio se localiza en el límite de la sierra madre de Chiapas y la Llanura costera del pacífico. Sus coordenadas geográficas son 14° .55' N y 92° .23' W su altitud es de 50 msnm. Limita al norte con el municipio de Tuzantán, al este con Tapachula al sur con Mazatán y al oeste con Huixtla (INEGI, 2010a).

Tapachula: el territorio municipal abarca en las coordenadas: 15° 15' de latitud norte, al sur 14° 37' de latitud; al este 92° 09' de longitud, al oeste 92° 28' de longitud. Presenta una altitud de 0 a 2700 msnm (INEGI, 2010b).

Tuxtla Chico: se encuentra en la Latitud Norte 14° 45' y Longitud Oeste 92° 16'; limita al Norte con el municipio de Cacahoatán, al Este con la Republica de Guatemala, al Sureste con el municipio de Metapa de Domínguez, al Sur con el municipio de Frontera Hidalgo y al Oeste con el municipio de Tapachula. Presenta una altitud de 320-500 msnm (INEGI, 2010c).

3.2 Organización experimental

Se realizó el muestreo de suelo en los tres sitios de colecta con diferente gradiente altitudinal, seleccionados como bajo, medio y alto, y posteriormente se realizó el análisis fisicoquímico correspondiente.

Se identificaron las características climáticas prevalecientes en los tres sitios de colecta de frutos de mangostán (*G. mangostana* L.) con base en la cartografía de mapas de temperatura y precipitación generados por INEGI (escala 1:250,000).

Se realizaron recorridos en cada sitio de muestreo para la selección de 10 árboles y se monitoreó la emergencia de yemas florales. El tamaño de la muestra fue de 7 frutos por árbol en madurez fisiológica. Los frutos se cosecharon en las primeras horas de la mañana de 7 a 10 am, los frutos del municipio de Tapachula fueron cosechados en etapa 3 de maduración (epidermis rosa rojizo), mientras que los frutos de Huehuetán y Tuxtla Chico fueron cosechados en etapa 5 de maduración (epidermis morado oscuro) (Palapol *et al.*, 2009), lo anterior debido a que, las huertas de Huehuetán y Tuxtla Chico donde se cosecharon los frutos estaban en zona baja (0 – 600 msnm) y presentaban condiciones climáticas diferentes a la huerta del municipio de Tapachula que llegaba de 900 a 1 000 msnm; por consiguiente, el periodo de cosecha en Huehuetán y Tuxtla Chico estaba finalizando y en Tapachula comenzando. Inmediatamente después de la cosecha fueron llevados al Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UAEM, en Cuernavaca, Morelos, donde fueron almacenados a temperatura ambiente 23 ± 2 °C y 70 % de humedad relativa.

Los frutos se distribuyeron completamente al azar donde cada fruto fue una unidad experimental. Las muestras no destructivas que corresponden a las variables de color, velocidad de respiración y producción de etileno, pérdida de peso y proporción de las estructuras del fruto, se midieron diariamente, de 0 a 12 días después de cosecha para municipios de Huehuetán y Tuxtla Chico y de 0 a 14 días para frutos provenientes de Tapachula (la diferencia de días se debió a que los frutos de Tapachula se cosecharon en una etapa más temprana de maduración, etapa 2, con las muestras destructivas se midieron las demás variables y aportación de metabolitos funcionales en intervalos de 3 días: 0, 3, 6, 9 y 12 días después de cosecha (Cuadro 4).

3.3 Duración del experimento

El periodo de estudio tuvo una duración de once meses aproximadamente, dando inicio en el mes de mayo de 2023. Se inició con la selección de los árboles, después con la cosecha de fruto y luego la fase de laboratorio.

3.4 Descripción de unidades y diseño experimentales

Se seleccionaron en campo 10 árboles en madurez fisiológica y se cosecharon 7 frutos de mangostán (*Garcinia mangostana* L.) por árbol en cada una de las 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas: Tapachula, Tuxtla Chico y Huehuetán (Cuadro 4), donde, un fruto fue una UE. Para las variables destructivas la UE fue de 1 fruto con 6 repeticiones; en las variables no destructivas 1 fruto fue una UE con 10 repeticiones a excepción de las variables de velocidad de respiración y producción de etileno, donde la UE fue de 2 frutos y se contó con 5 repeticiones (Cuadro 4). El diseño experimental fue uno completamente al azar.

Cuadro 4. Descripción de unidades experimentales por tipos de variables utilizados en este estudio

Descriptores	Variables destructivas	Variables no destructivas
Unidad Experimental	1	1, 2*
Repeticiones	6	10, 5*
Días analizados	5 ^a	12, 14**
Frutos analizados por localidad	30	10

*: Datos correspondientes a las variables fisiológicas; **: Frutos de Tapachula; ^a: en intervalos de 3 días, 0, 3, 6, 9 y 12.

3.5 Variables evaluadas

3.5.1 Variables físicas-morfológicas

3.5.1.1 Proporción de las estructuras del fruto

En muestras destructivas de fruto con 6 repeticiones, se registraron las siguientes variables: a) Masa de fruto, b) Diámetro de fruto, c) Masa de pulpa, d) Grosor de epicarpio, e) Número de segmentos de pulpa, f) Número de semillas; g) Masa de la semilla, h) Longitud de semilla, i) Ancho de semilla, j) Grosor de semilla y k) proporción de peso pulpa, cáscara y semilla. Las mediciones fueron realizadas

con ayuda de un vernier (Thomas Scientific®, EUA) de 0.001 mm de sensibilidad y una balanza digital (OHAUS®, EUA).

3.5.1.2 Color del fruto

Se utilizaron muestras con 10 repeticiones por localidad. Se determinaron los parámetros de color (luminosidad (L*), cromaticidad (C*) y matiz (h)) en tres partes diferentes de cada fruto, para ello se midió con un espectrofotómetro portátil (X-rite® SP64, EUA) (McGuire, 1992).

3.5.1.3 Pérdida de peso

Se registró diariamente el peso de frutos con 10 repeticiones por localidad, con una balanza digital (OHAUS, SCOUT Pro, EUA) se expresó en porcentaje diario, relacionando el peso final al peso inicial, según lo recomendado por Díaz-Pérez (1998). El porcentaje final de pérdida de agua del fruto se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

3.5.1.4 Firmeza del fruto

Se determinó la fuerza de penetración en kg en el epicarpio y el mesocarpio, por ambos lados de la parte ecuatorial de un fruto entero. La determinación se realizó con un Texturómetro manual (Chatillon DF250, USA) provisto de un puntual tipo diente (4.7 mm de diámetro en la base). Se utilizaron muestras destructivas con 6 repeticiones por localidad. La lectura se expresó y reportó en Newton (N) (Hernández, 2008).

3.5.2 Variables fisiológicas

3.5.2.1 Velocidad de respiración y producción de etileno

Las velocidades de producción de respiración (CO₂) y producción de etileno se cuantificó mediante un sistema estático (Mendoza y Báez, 2000) que consistió en colocar dos frutos de masa conocida en un recipiente con capacidad de 920 mL, cerrados herméticamente durante 2 horas. Posteriormente, se tomó 1 mL de gas

del espacio de cabeza a través de la septa de los frascos, para inyectarla a un Cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890^a GC) equipado con una columna tipo abierta con empaque de capa porosa de silica conectada simultáneamente a un detector de ionización de flama (FID) a una temperatura de N₂ (2 mL•min⁻¹). El inyector y horno del Cromatógrafo mantuvo una temperatura de 150 y 80 °C durante las mediciones. Se utilizó nitrógeno como gas de arrastre. Para la cuantificación se utilizaron estándares de CO₂ (460 ppm) y etileno (100 ppm) (Quark INFRA®). Los resultados se reportaron en mL Kg⁻¹h⁻¹ con un detector de ionización de flama y otro de conductividad térmica.

3.5.3 Variables bioquímicas y actividad antioxidante

3.5.3.1 Sólidos solubles totales en pulpa

Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron a partir de dos gotas de jugo extraídas de los arilos de cada uno de los frutos y se midió con un refractómetro (ATAGO PAL-1®, Japón). Los resultados se reportaron en unidades de °Brix.

3.5.3.2 Acidez Titulable en pulpa

Se determinó tomando 1 g de pulpa, se homogenizó con un Ultra Turrax T25 (IKA®, EUA) con 10 mL de agua destilada, se centrifugó a 5 000 rpm por 10 minutos, posteriormente se tomó 5 mL y se le adicionó 3 gotas de Fenolftaleína como indicador. Finalmente se tituló con Hidróxido de sodio (NaOH) con una normalidad de: 1075. Los resultados fueron expresados como porcentaje (%) de ácido cítrico (AOAC, 1990) mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez titulable (\%)} = \frac{(\text{mL de NaOH}) \times (0.1N) \times (11\text{mL}) \times (64) \times (100)}{(1\text{ g}) \times (5\text{ mL}) \times 1000}$$

3.5.3.3 Índice de Sabor en pulpa

El IS se obtuvo dividiendo el contenido de SST de cada muestra y su respectivo contenido de AT, relación SST/AT.

3.5.3.4 Azúcares totales en pulpa

Los azúcares totales se determinaron por el método de Antrona descrito por Witham *et al.* (1971). Se pesó 1 g pulpa y se cortó en trozos pequeños, se colocaron en frascos de vidrio y se les adicionó 50 mL de etanol al 80% v/v, posteriormente se sometió a ebullición de 3 a 5 min, el extracto obtenido se almacenó en refrigeración a 5°C. Después de 15 días se colocó 1 mL de sobrenadante en un vaso de precipitados y se dejó evaporando, evitando la caramelización, posteriormente se homogenizó con 30 mL de agua destilada. De este homogenizado, se colocó 0.5 mL y se agregó a 1.5 mL de agua destilada. A cada tubo con muestra se le agregaron 3 mL de la solución de Antrona al 0.04% (0.04 g de Antrona en 100 ml de ácido sulfúrico) manteniendo los tubos en baño de hielo para bajar la temperatura al momento de la reacción, en seguida se colocaron en baño maría en ebullición por 3 min. Una vez fríos, se cuantificó la absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro. Se utilizó como blanco de referencia una solución de 2 mL de agua destilada más 3 mL de la solución de Antrona al 0.04 %. Para el cálculo de la concentración de azúcares totales se utilizó una curva patrón de glucosa como referencia.

Se elaboró una curva patrón de concentración entre 0-150 mg, para cuantificar los azucares totales en los frutos de mangostán

3.5.3.5 Fenoles totales en pulpa y cáscara

La determinación de fenoles totales se realizó por el método desarrollado por Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999). 1 g de pulpa fue homogenizado en un tubo de ensayo con ayuda de un Ultra Turrax con 10 mL de agua destilada y posteriormente se centrifugó. De lo centrifugado se hizo una dilución tomando 0.4 mL de las muestras centrifugadas adicionándole 0.6 ml de agua destilada (FD: 2.5) y se mezcló con 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10) después de 5 minutos se adicionó 2 mL de carbonato de sodio (7.5% p/v), se dejó reposar durante 2 horas en oscuridad, posteriormente las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro (Thermo Scientific Inc. Genesys 10S UV-Vis) a 760 nm. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) 100 g⁻¹ peso fresco.

En el caso de la cáscara, se tomó 0.1 g de material vegetal para el procedimiento y se realizaron las siguientes diluciones; frutos Tapachula: factor de dilución 3.3 (0.3 mL muestra + 0.7 mL agua destilada), frutos Huehuetán y Tuxtla Chico: FD 20 (0.05 mL muestra + 0.95 mL agua destilada)

Para la curva patrón se preparó 0.01 g de ácido tánico en 100 mL de agua destilada quedando a una concentración de 100 ppm. En 6 tubos de ensayo con capacidad de 10 mL se preparó ácido tánico en diferentes concentraciones (0, 10, 40, 60 80 y 100 ppm), de los 6 tubos anteriormente preparados se colectaron 0.5 mL de solución y se mezclaron con 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10) después de 5 minutos se adicionó 2 mL de carbonato de sodio (7.5% p/v) y posteriormente se dejó reposar durante 2 h, las lecturas se realizaron a 760nm, los resultados obtenidos se expresaron en mg EAG 100g⁻¹ de peso fresco.

3.5.3.6 Extracción y cuantificación de antocianinas en cáscara

Se utilizó el método de pH diferencial propuesta por Lee *et al.* (2005). Primeramente, se prepararon los buffers pH1 y pH 4.5. para el pH 1 se pesó 1.86 g de cloruro de potasio y se adicionó 980 mL de agua destilada. Se ajustó a pH 1 (± 0.05), con HCl al 10% y se aforó a 1000 mL. Para el buffer pH 4.5, se pesó 54.43 g de acetato de sodio y se adicionó 960 mL de agua destilada, se ajustó a pH 4.5 con HCl al 10% y se aforó a 1000 mL.

Para la extracción de antocianinas se pesó 0.1 g de cáscara, con excepción de las muestras día 0 después de cosecha del municipio de Tapachula, donde se tuvo que utilizar 1 g de material vegetal. Posteriormente se homogenizó con 20 mL del buffer pH 1, se centrifugó a 5 000 rpm por 10 min. Las lecturas de absorbancia fueron realizadas en un espectrofotómetro a 520 y 700 nm. El procedimiento se repitió con el buffer pH 4.5. Para calcular la concentración de pigmento de antocianinas se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Pigmento antocianina (cianidina - 3 - glucósido, mg L}^{-1}\text{)} = \frac{A \times PM \times FD \times 10^3}{\epsilon \times 1}$$

Donde:

$$A = (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH1.0} - (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH4.5}$$

PM (Peso molecular) = 449.2 g mol⁻¹ para cianidina-3-glucosido (cyn-3-glu).

FD = Factor de dilución.

10³ = Factor para conversión de g a mg

ε = Coeficiente de extinción molar (26 900)

3.5.3.7 Determinación de la capacidad antioxidante por el método actividad del radical 1,1 -difetil, 2-picrylhidrazyl (DPPH)

Se preparó una solución madre con 0.0024 g de Actividad del radical 1,1-difenil, 2-picrylhidrazyl (DPPH) y se mezcló con 100 mL de metanol al 80%, posteriormente se agitó en total oscuridad con ayuda de un agitador por el lapso de 2 h; después se disolvió con metanol al 80% hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ±0.02 a 517 nm.

Para la muestra se pesó 1 g de pulpa, se homogenizó con 10 mL de agua destilada, se centrifugó a 5 000 rpm por 10 min; posteriormente se tomó 0.10 mL, se colocó en un tubo de ensayo adicionándole 3 mL de la solución DPPH. Se dejó reposar en la oscuridad durante 30 min, transcurrido el tiempo se leyó el cambio de absorbancia en un espectrofotómetro (HACH DR 5000 ®) a 517nm. La actividad antioxidante se determinó usando una curva estándar con ácido ascórbico (0-100 mg L⁻¹). Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100g⁻¹ (Brand-Williams *et al.*, 1995).

Para las muestras con cáscara se tomó 0.1 g de material vegetal y se siguió el procedimiento antes explicado.

3.5.3.8 Capacidad antioxidante por el método ABTS

Para la curva se preparó la solución ABTS (Sigma-Aldrich), para eso se pesó 0.066 g de Persulfato de potasio (K₂S₂O₈), se disolvió en 100 mL de agua destilada, en seguida se pesó 0.03842 g de ABTS y se mezcló en 10 mL de agua destilada; a la solución de ABTS con agua destilada se le adicionó 10 mL del Persulfato de Potasio (K₂S₂O₈) y se dejó reposar durante 16 h. Una vez transcurrido las 16 h de

reposo del ABTS, se diluyó con etanol al 20% hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm.

Para la muestra se pesó 1 g de pulpa y se homogenizó en 10 mL de agua destilada, se centrifugó a 5 000 rpm por 10 min. Seguidamente se utilizó 0.1 ml de la muestra centrifugada más 3 ml de ABTS, se dejó reposar a oscuridad durante 15 min y se leyó su absorbancia a 734 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g^{-1} peso fresco (Re *et al.*, 2005).

Para las muestras con cáscara se utilizó 0.1 g de material vegetal, en muchos casos se tuvo que recurrir a diluciones con agua destilada, utilizando 2 diferentes factores de dilución: 6.6 (15 μL de muestra + 85 μL de agua destilada) y 20 (5 μL de muestra + 95 μL de agua destilada)

3.5.3.9 Capacidad antioxidante de potencial de reducción férrica (FRAP)

Para esta variable, se utilizó la metodología descrita por Benzie y Strain (1996). Para el compuesto FRAP se pesaron los reactivos y soluciones siguientes: 0.135 g de cloruro de hierro se disolvió en 25 mL de agua destilada, se mezcló 0.327 mL de ácido sulfúrico en 100 mL de agua destilada; de la mezcla de agua y ácido sulfúrico se tomó 10 mL y se mezcló con 0.312 g TPTZ, posteriormente se pesó 0.0061g de tampón de acetato de sodio y se mezcló en 150 mL de agua destilada, la solución presentó un pH de 3.6, de lo contrario se utilizó ácido sulfúrico para llevar la solución a pH de 3.6. En seguida se mezclaron las siguientes soluciones: 2.5 mL de TPTZ más 2.5 mL de cloruro de hierro y 25 mL de acetato de sodio a un pH de 3.6. De la mezcla de los reactivos anteriores se obtuvo el compuesto FRAP.

Para la muestra se pesó 1 g de pulpa homogenizado con 10 mL de agua destilada, se centrifugó a 5 000 rpm por 10 min, de la muestra centrifugada, se tomó 0.1 mL y posteriormente se le adicionó 1.90 mL de FRAP (TPTZ, FeCl_3 y tampón acetato), se dejó reaccionar durante 30 min a 37°C ; una vez transcurrido el tiempo de reacción se leyó la absorbancia a 593 nm en un espectrofotómetro. Los resultados serán expresados en mg equivalentes ácido ascórbico (EAA) 100 g^{-1} peso fresco.

En lo que respecta a las muestras de cáscara, se utilizó 0.1 g de material vegetal, con las muestras de Huehuetán y Tuxtla Chico se hicieron diluciones con un factor de dilución de 6.6 (0.015 mL muestra + 0.085 mL agua destilada). Las muestras de Tapachula no necesitaron dilución.

3.6 Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS ver. 9, donde se realizó análisis descriptivo, de varianza, comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) y correlación de Pearson. La elaboración de las gráficas se realizó con el software SigmaPlot® versión 14.5, en las que se presenta el promedio de las observaciones y su error estándar.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables físicas-morfológicas

4.1.1 Proporción de las estructuras del fruto

Las características de los frutos en general fueron los siguientes: Masa de fruto (MF) fluctuó en 57.29 – 103.72 g; Diámetro de fruto (DF): 4.95 – 5.97 cm; Masa de pulpa (MP): 19.73 – 38.40 g; Grosor del epicarpio (GEP): 0.62 – 0.98 cm; Número de segmentos de pulpa (NSP): 5.90 – 6.06; Número de semilla (NS): 0.1 – 1.2; Porcentaje de semilla (%S): 10 – 86. Los frutos procedentes de Tapachula presentaron los valores mayores en todas las variables, exceptuando GEP y AS (Cuadro 5), existió una correlación altamente significativa entre la masa del fruto y el porcentaje de semillas presentes (Cuadro 7); los frutos de Tapachula presentaron en promedio 103.7 g en la MF, 38.4 g en MP con mayor número de segmentos de pulpa (6), mayor número de semillas en promedio (1.2) y un promedio en %S de 86 (Cuadro 5). Todas las variables mencionadas anteriormente, mostraron diferencias significativas comparados con los otros 2 municipios.

Cuadro 5. Promedio de las estructuras analizadas del fruto de mangostán (*Garcinia mangostana*). cultivados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas.

LOCALIDAD	MF (g)	DF (cm)	MP (g)	GEP (cm)	NSP	NS	% S	MS (g)	LS (cm)	AS (cm)	GS (cm)
Huehuetán	57.29 c	4.95 b	19.73 c	0.62 a	5.90 ab	0.1 b	10	2.03 a	1.79 a	1.40 a	0.76 a
Tuxtla Chico	79.47 b	5.73 a	26.99 b	0.98 a	5.63 b	0.3 b	30	1.83 a	1.84 a	2.85 a	0.82 a
Tapachula	103.72 a	5.97 a	38.40 a	0.72 a	6.06 a	1.2 a	86	2.65 a	2.25 a	1.46 a	0.83 a
CV (%)	27.45	12.34	30.12	114.01	11.19	96.23	-	51.22	25.22	116.34	17.45
DMS	13.55	0.42	5.26	0.54	0.40	0.32	-	1.71	0.74	2.88	0.20

Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). MF: Masa de fruto; DF: Diámetro de fruto; MP: Masa de pulpa; GEP: Grosor del epicarpio; NSP: Número de segmentos de la pulpa; NS: Número de semillas; %S: Porcentaje de semilla; MS: Masa de semilla; LS: Longitud de semilla; AS: Anchura de semilla; GS: Grosor de semilla.

Con relación a la masa de semilla (MS), longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS) y grosor de semilla (GS), no se detectaron diferencias significativas entre municipios (Cuadro 6); el promedio de masa de semillas osciló entre 1.83 g (Tuxtla Chico) y 2.65 g (Tapachula), la LS fue de 1.79 (Huehuetán) a 2.25 cm (Tapachula); el ancho y grosor de semilla fluctuó entre 1.40 – 2.85 cm y 0.76 – 0.82 cm respectivamente (Cuadro 6). En la proporción de peso de pulpa, cáscara y semilla fue de 34.19 - 36.99%, 0.37 – 2.29% y 60.71 y 65.02% (Cuadro 7). Los frutos de Tapachula presentaron la mayor proporción de pulpa y semilla, en tanto que, con peso mayor de cáscara fue T. Chico.

Cuadro 6. Coeficiente de correlación de Pearson entre la masa del fruto y las proporciones de semillas analizadas.

Variables	
MF vs NS	0.54***
MF vs MS	0.43***
MF vs LS	0.45***
MF vs AS	0.13*
MF vs GS	0.37***

* No significativo, ***: Altamente significativo

Cuadro 7. Porcentaje de proporción de peso de pulpa, cáscara y semilla de frutos de mangostán (*Garcinia mangostana*) cultivados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas.

LOCALIDAD	%MP	%MS	%MC
Huehuetán	34.77 a	0.37 b	64.85 a
Tuxtla Chico	34.19 a	0.78 b	65.02 a
Tapachula	36.99 a	2.29 a	60.71 b
CV (%)	13.80	119.61	8.28
DMS	3.00	0.84	3.23

Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). %MP: porcentaje masa de pulpa; %MS: porcentaje masa de semilla; %MC: porcentaje masa de cáscara.

Mulyono *et al.* (2021) reporta en diferentes distritos de Indonesia frutos con las siguientes características: MF: 25.31 – 57.31 g; DF: 3.6 – 4.57 cm y un promedio de segmentos de pulpa de 5, dichos valores son menores que lo observado en este trabajo. Sin embargo, los valores obtenidos de la proporción de las estructuras del fruto corresponden a los publicados por diversos autores como Ketsa & Paull (2011), Díaz *et al.* (2011) en México, Hidayat *et al.* (2020) en Indonesia, Berame *et al.* (2020) y Tac-an *et al.* (2021) en Filipinas, quien además, comenta que un mangostán con peso de 100 ± 20 g entra a clasificación de calidad extra de acuerdo a los estándares de ASEAN (Association of Southeast Asian Nations), por lo que de acuerdo a los datos obtenidos se puede deducir que los frutos producidos en el Soconusco pueden presentar características morfológicas cercanas o similares a los frutos producidos en países pioneros en mangostán como Tailandia e Indonesia, además, se puede competir y alcanzar el grado de calidad extra manejado en los mercados internacionales; las diferencias en las características de los frutos entre localidades puede deberse a las condiciones agroclimáticas considerablemente diferentes entre Tapachula y Huehuetán/T. Chico. La baja cantidad de semilla tiene relación a que el fruto de mangostán es normalmente partenocárpico, además de tener semillas apomícticas y no todas logran un desarrollo completo (Yao *et al.*, 2023).

4.1.2 Color de fruto

La luminosidad (L) presentó diferencia significativa entre Tuxtla Chico y Tapachula (Cuadro 8); en los 3 municipios se presentó la misma tendencia a disminuir durante la poscosecha, Tapachula comenzó con una L^* de 28.12 terminando al día 14 después de cosecha con 23.33 mientras que Tuxtla Chico y Huehuetán comenzaron con 24.82 y 26, terminando al día 12 con 22.91 y 23.38 respectivamente (Figura 3).

Cuadro 8. Promedio de 10 frutos de Luminosidad (L), Cromaticidad (C) y Matiz (h) en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas.

LOCALIDAD	L*	C*	h
Huehuetán	23.32 ab	1.79 b	17.75 b
Tuxtla Chico	22.98 b	1.48 b	16.53 b
Tapachula	23.73 a	3.98 a	21.19 a
CV (%)	6.19	94.74	24.45
DMS	0.41	0.68	1.31

Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Los valores obtenidos de L* son similares a los reportados por otros autores como Herawati *et al.*, (2019) e Hideyat *et al.*, (2020) quienes detectaron una L* en frutos en etapa 6 entre 22.73 y 25. Por lo que se puede asumir que durante la poscosecha la luminosidad en frutos de mangostán disminuye llegando al final de su vida útil con valores de 22 a 23. De la misma manera, Tac-an *et al.*, (2021) en Filipinas reportaron un comportamiento en poscosecha similar en frutos almacenados en temperatura ambiente, teniendo un descenso durante toda la etapa de poscosecha llegando al día 14 con un valor de L* = 24 aproximadamente.

La cromaticidad, que corresponde a la saturación de color y en la que valores altos significa un color vívido mientras que los valores bajos un color opaco, se presentó un ligero descenso en los municipios de Tuxtla Chico y Huehuetán comenzando el estudio con 2.6 y 2.17, terminando el día 12 después de cosecha con 1.27 y 1.04 respectivamente (Figura 4). Tapachula presentó diferencia significativa en la prueba de Tukey con un promedio de 3.98 (Cuadro 8), comenzó el estudio con valores más elevados (11.14) que T. Chico y Huehuetán teniendo un rápido descenso hasta el día 5 después de cosecha (3.43). Posteriormente descendió más lentamente terminando el análisis con valores similares a los otros municipios analizados (1.75). La diferencia de cromaticidad con los frutos de Tapachula se debe principalmente a la diferente etapa de maduración en la que fue cosechada (etapa 3, rosa-rojizo) y analizada en comparación con los otros municipios. Trinidad (2024), en Tuxtla

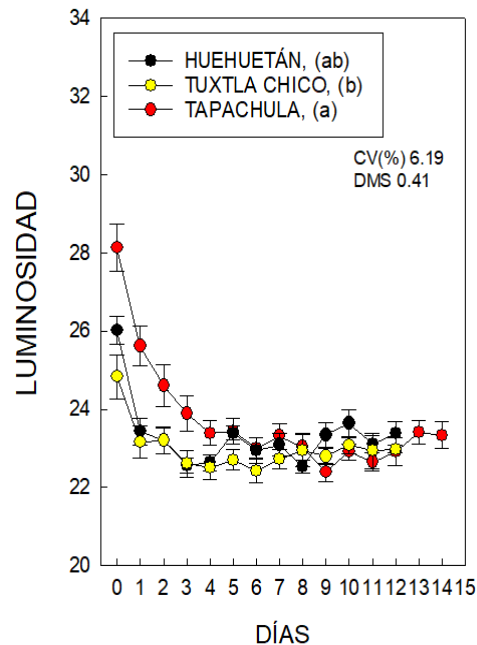


Figura 3. Dinámica de luminosidad (L^*) de la epidermis en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 10 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)

Chico, Chiapas, México, presentó valores y comportamiento similar a los reportados en este trabajo; Hidayat *et al.*, (2019) reporta una cromaticidad promedio de 9, valores más alto que lo reportado en el Soconusco, Chiapas.

El matiz (h) presentó un promedio en Huehuetán, T. Chico y Tapachula de 17.75, 16.53 y 21.19 (Cuadro 8), de manera que el color del fruto de mangostán osciló entre rojo y morado. Hubo diferencia significativa entre Tapachula y Huehuetán/T. Chico; durante la poscosecha, donde la dinámica del ángulo de matiz (para todos los casos) disminuyó ligeramente en los 3 municipios (Figura 5), Tapachula fue el municipio que más disminuyó empezando el estudio con un promedio de 28.12 que corresponde a la etapa 4 de maduración (púrpura-rojizo) según la escala de Palapol *et al.*, (2009), posteriormente disminuyó constantemente hasta 17.33 por lo que se puede sugerir que el fruto fue cambiando a púrpura. Los frutos de Huehuetán y Tuxtla Chico al ser cosechados en etapa 5 (púrpura-oscuro) reportaron valores iniciales similares que Tapachula al día 5 después de cosecha (Figura 4).

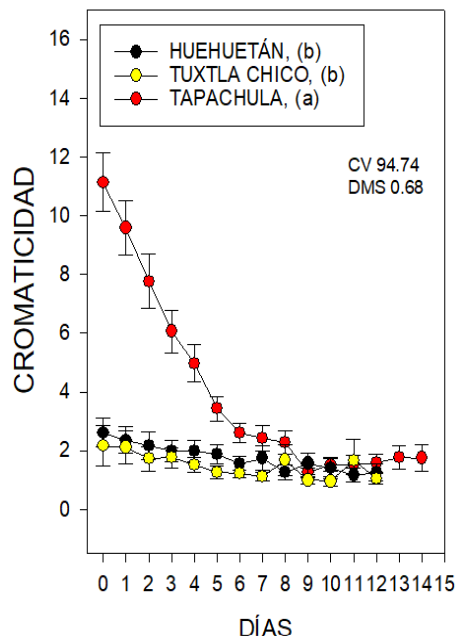


Figura 4. Dinámica de cromaticidad (C^*) de la epidermis en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 10 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)

En los frutos el color es un factor importante para definir el estado de madurez, los cambios de maduración, cosecha, consumo, clasificación, etc. El desarrollo del color está condicionado por factores como la temperatura, la etapa de madurez, la duración del almacenamiento, y más importante, el daño en cosecha y poscosecha, pues se consideran esenciales para mantener las características de color hasta llegar al consumidor final. Kanchanapom and Kanchanapom (1998), mencionan que una cosecha a destiempo desarrollará un sabor débil. La muestra de color rojo parduzco es adecuada para cosecha de exportación mientras que el color morado oscuro es adecuado para el consumo. El cambio de color verde-amarillento a morado en la fruta del mangostán se debe principalmente a la actividad de enzimas responsables de la degradación de clorofila y a la síntesis y acumulación de antocianinas, un compuesto nutraceutico de los cuales principalmente se compone de cianidina-3-soforósido y cianidina-3-glucósido (Palapol *et al.*, 2009).

En relación con los datos obtenidos en esta investigación se puede sugerir que los frutos de *G. mangostana* mostraron tendencia entre rojo y morado, con baja

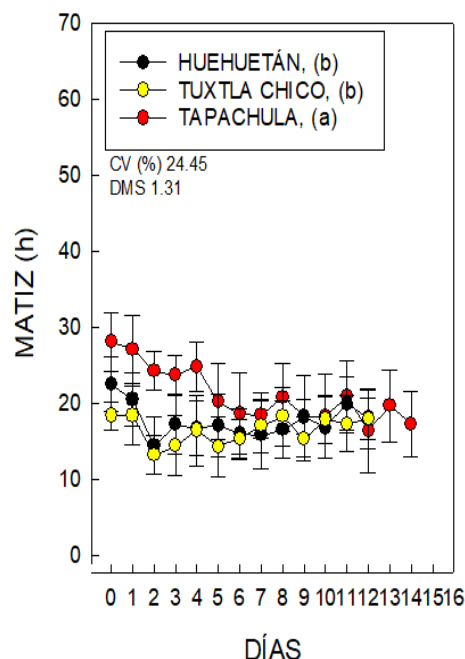


Figura 5. Dinámica de matiz (h) de la epidermis en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 10 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

luminosidad y opacos; durante la poscosecha, los frutos de mangostán pierden brillo y el color de la epidermis cambia de rosa-rojizo (etapa 3) a negro púrpura (etapa 6). Se sugiere que las diferentes condiciones climatológicas que se presentan en el Soconusco no interfieren en el desarrollo de color de la fruta de mangostán.

4.1.3 Pérdida de Peso y Firmeza

Los frutos evaluados presentaron una pérdida de peso constante, donde los frutos de Huehuetán alcanzaron 14% (Figura 6) siendo los frutos que más peso perdieron con diferencia significativa respecto a los municipios de Tuxtla Chico y Tapachula; se presentó un coeficiente de variación de 69.3% (Cuadro 9). Los frutos de Tapachula presentaron un promedio de 5.02% siendo el porcentaje

Cuadro 9. Promedio de Pérdida de Peso y Firmeza en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas

LOCALIDAD	PERDIDA DE PESO (%)	FIRMEZA (N)
Huehuetán	6.60 a	23.27 ab
Tuxtla Chico	5.39 b	18.65 b
Tapachula	5.02 b	26.03 a
CV (%)	69.35	39.32
DMS	1.12	5.48

Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

más bajo, tuvo un pico máximo de 9% a los 14 días después de cosecha (Figura 6), el comportamiento de pérdida de peso ascendente también es reportado por Tac-an *et al* (2021). Los frutos de los 3 municipios presentaron pérdida de peso mayores que los reportados en Filipinas por Tac-an *et al*. (2021) que oscilaron de 1.5 a 2.5 % y Mustafa *et al*. (2018) en Malasia, el cual llegó hasta 3%. La diferencia de porcentajes puede deberse a que los frutos evaluados en esta investigación sufrieron un estrés extra por el transporte terrestre de 20 h; sin embargo, en Brasil se reportan pérdidas de peso de hasta 27% a los 14 días de almacenamiento a 25 °C (Castro *et al*., 2012). Se sugiere que las diferencias entre Tapachula/Tuxtla Chico y Huehuetán se deben a que los frutos de Tapachula fueron cosechados en etapa 3 de maduración (rosa-rojizo) y en Huehuetán y Tuxtla Chico en etapa 5 (morado oscuro)

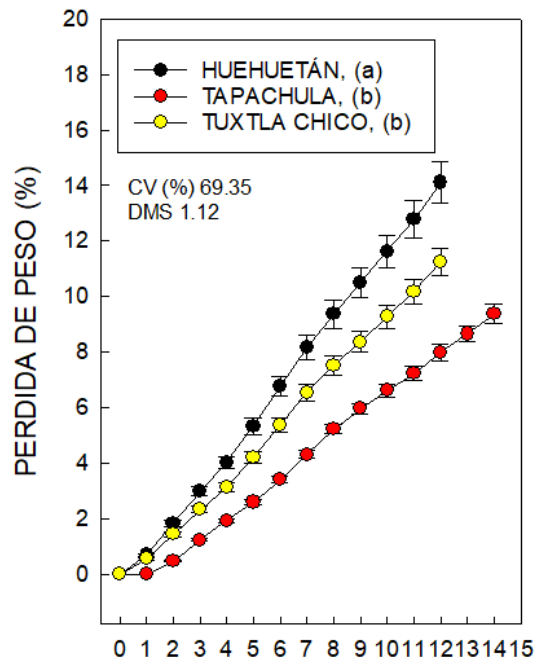


Figura 6. Dinámica de Pérdida de Peso en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 10 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

En firmeza, el promedio osciló de 18.65 – 26.03 N. Los frutos de Tapachula presentaron el promedio mayor con 26.03 N (Cuadro 9), dichos frutos presentaron una firmeza inicial de 46 N, pasados los 3 días tuvo una disminución llegando a 22 N (47.8%) (Figura 7), posteriormente la firmeza del fruto fue estable; los frutos de Huehuetán mostraron una tendencia al alza llegando al día 14 con 35 N, 15 N más que lo alcanzado por los frutos de Tapachula y Tuxtla Chico, esto se debe a que los frutos de Huehuetan presentaron sobre maduración al día 12. Mustafa *et al.* (2018) reporta un comportamiento similar con 29 N al día 12 mostrando tendencia a incrementarse por el comienzo de la senescencia del fruto. Este comportamiento tiene relación con la pérdida de peso el cual induce el endurecimiento del epicarpio (Dangcham *et al.*, 2008) permitiendo la lignificación por pérdida de agua y el fin de la vida útil del fruto. Por otro lado, la disminución de firmeza en los frutos de Tapachula del día 0 a 3 es una característica normal en la maduración en frutos de *G. mangostana* cosechados en etapas tempranas, dicha maduración implica la

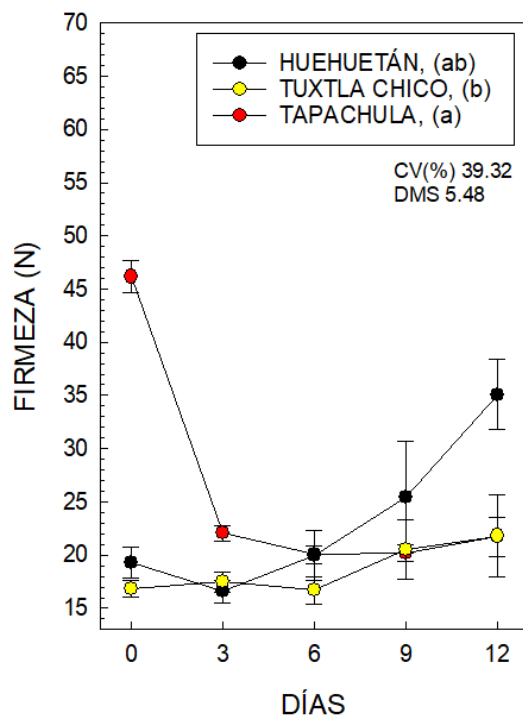


Figura 7. Firmeza de la epidermis de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

descomposición de la pectina y la hemicelulosa en las paredes celulares provocada por el etileno para formar metabolitos simples como galactosa, xilosa y ácido galacturónico (Merchante *et al.*, 2013 y Hayama *et al.*, 2006). Esta ruptura de la pared celular provoca una drástica disminución de la firmeza cuando la fruta está madura; Palapol *et al.* (2009), menciona que la firmeza del fruto es superior (779.3 N) en etapas tempranas de maduración (etapa 0) teniendo una drástica disminución llegando a 46 N en la etapa 6. La diferencia entre Tapachula y Huehuetán/Tuxtla Chico se debe a las diferentes etapas de maduración en que se realizó la cosecha en estos municipios.

4.2 Variables Fisiológicas

4.2.1 Velocidad de respiración y producción de etileno

Se detectaron diferencias significativas en la velocidad de respiración en los frutos de mangostán cosechados en los diferentes municipios ($P \leq 0.05$) (cuadro 10). Los frutos provenientes de Huehuetán mostraron máximos de respiración en

Cuadro 10. Promedio de producción de etileno y CO₂ en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas.

LOCALIDAD	CO ₂ (mL kg ⁻¹ h ⁻¹)	ETILENO (μL kg ⁻¹ h ⁻¹)
Huehuetán	5.39 a	110.68 a
Tuxtla Chico	4.57 b	81.87 b
Tapachula	3.29 c	79.40 b
CV (%)	36.42	31.32
DMS	0.64	11.42

Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

los días 1, 5 y 11 después de cosecha, alcanzando hasta 5.8 mL kg⁻¹h⁻¹ este ultimo día y posteriormente descendiendo en el día 12 hasta 2.76 mL kg⁻¹h⁻¹, lo que sugiere la etapa de senescencia. Los frutos cosechados en Tuxtla Chico presentaron similar comportamiento alcanzando el día 12 un máximo de 3.19 mL kg⁻¹h⁻¹, mientras que en los frutos cosechados en Tapachula se mantuvieron entre 3.19 y 3.68 mL kg⁻¹ h⁻¹ del día 2 al 11, posteriormente llegó el día 14 con 3.49 mL kg⁻¹h⁻¹. En los frutos de los tres municipios, existió un máximo de respiración el día 0 y (entre 1.43 y 5.77 mL kg⁻¹h⁻¹) (Figura 8), posteriormente disminuyó ligeramente manteniéndose estable hasta el día 12, donde volvió a disminuir.

Se sugiere que la diferencia se debe a dos factores, la primera por la distinta etapa de maduración en el momento de la cosecha y la segunda por las diferentes condiciones climáticas presentes en Tapachula y Huehuetán/Tuxtla Chico.

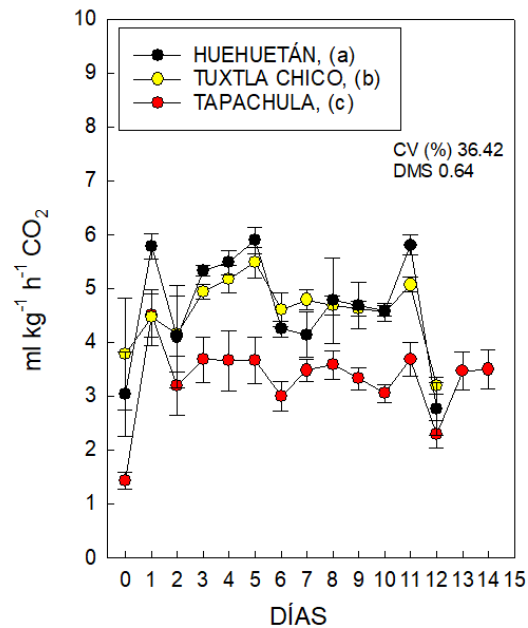


Figura 8. Producción de CO₂ en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 5 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

La tendencia de la respiración en esta investigación es similar a los presentados por Bayogan y Delgado (2013), aunque la intensidad de la tasa respiratoria de la fruta cosechada en la etapa 0 y madurada a 25 °C es de aproximadamente 10 mL kg⁻¹ h⁻¹, aumentando a aproximadamente 30 mL kg⁻¹ h⁻¹ en el pico climatérico del día 4, después cae a aproximadamente 18 mL kg⁻¹ h⁻¹ al día 7 (Noichinda, 1992).

Correspondiente a la producción de Etileno, se presentaron diferencias significativas entre Huehuetán y Tapachula/T. Chico, ya que los frutos de Huehuetán presentaron el valor mayor con 110.68 µL kg⁻¹ h⁻¹ (Figura 9); en general, el comportamiento fue similar a la tasa de respiración, en los 3 municipios el día 0 y 1 se presentó la mayor tasa de respiración y producción de etileno, posiblemente se deba al estrés causado por el transporte de los frutos; posteriormente, hubo una disminución entre los días 2 y 5, posteriormente Tapachula se mantuvo estable en todo el análisis con el menor promedio registrado con 79.40 µL kg⁻¹ h⁻¹, en el día 12 se presentó una drástica disminución en los frutos de Huehuetán, esto tiene relación con los resultados anteriormente presentados, pues los frutos de Huehuetán presentaron mayor pérdida de peso, tasa de respiración más elevada y firmeza de

epicarpio mayor, esto se resume a que entraron en etapa de senescencia más rápido.

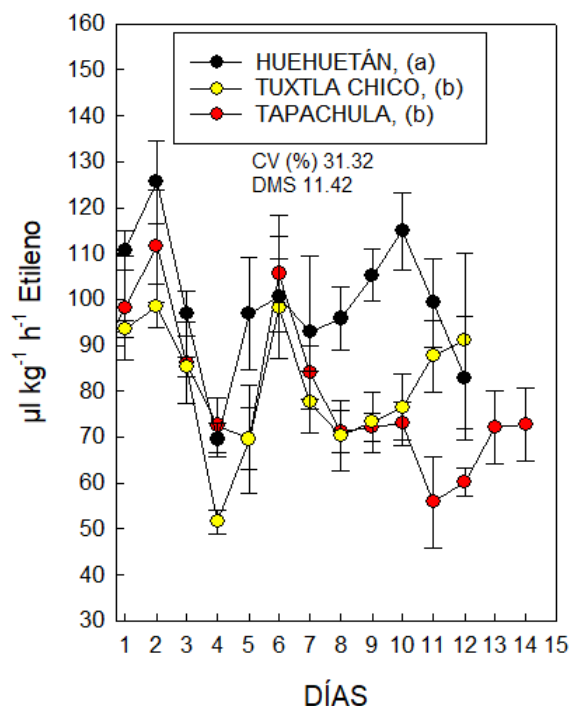


Figura 9. Producción de etileno en frutos de mangostán cosechados en 3 localidades de la región Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 5 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.3 Variables Bioquímicas

4.3.1 Sólidos solubles totales, acidez titulable, índice de sabor y azúcares totales

Los sólidos solubles totales oscilaron entre 16 a 19 °Brix durante la maduración (Figura 10), los frutos de Huehuetán presentaron mayor contenido de °Brix con diferencia significativa con el municipio de Tuxtla Chico (Cuadro 11), este último al inicio del estudio mostraron valores bajos.

Cuadro 11. Promedio de SST, AT, IS y Azúcares totales en frutos de mangostán (*Garcinia mangostana*) cosechados en tres localidades de la región Soconusco, Chiapas.

LOCALIDAD	SST (°Brix)	AT (% ácido cítrico)	IS (SST/AT)	AZÚCARES TOTALES (mg g ⁻¹)
Huehuetán	18.49 a	0.66 b	28.97 a	183.82 a
Tuxtla Chico	17.45 b	0.63 b	28.02 a	173.25 a
Tapachula	17.81 ab	0.88 a	20.80 b	186.13 a
CV (%)	7.95	18.20	20.50	18.73
DMS	0.87	0.08	3.27	20.88

Medias con letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). SST: Sólidos Solubles Totales (°Brix); AT: Acidez Titulable; IS: Índice de sabor.

Durante la maduración en los frutos de los 3 municipios, su comportamiento fue constante en todo el análisis. Los valores en los frutos de T. Chico, presentaron una ligera tendencia a disminuir a partir del día 3 (Figura 10), esto es posible porque la

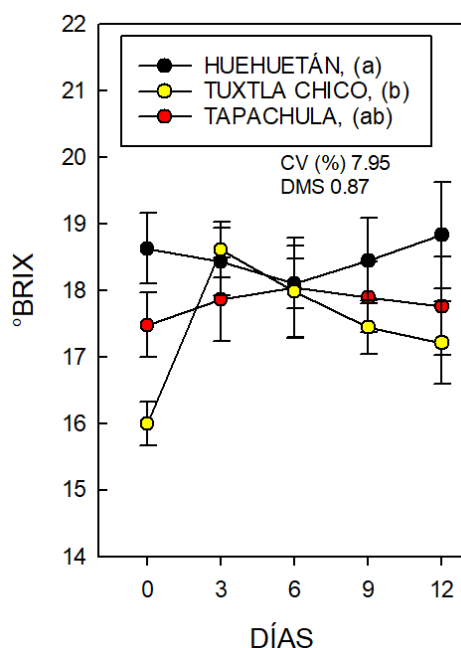


Figura 10. Dinámica de sólidos solubles totales (°Brix) durante la poscosecha de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

fruta había comenzado a descomponerse, los frutos de Huehuetán a pesar de entrar en senescencia al día 12, no presentaron disminución en sus SST, pero sí en su AT. Los pocos cambios en los SST es debido a que los frutos de mangostán en etapa 3 presentan el mayor aumento en los SST (Palapol *et al.*, 2009 y Suyanti y Roosmani, 1999); resultados similares con diferentes condiciones agroclimáticas y cosechados en distintas etapas de maduración, son expuestos en otras partes del mundo (Filipinas, Brasil, Tailandia, Indonesia y México) donde se han podido documentar frutos por arriba de los 20 °Brix (Tac-an *et al.*, 2021; Castro *et al.*, 2012; Palapol *et al.*, 2009; Suriati, 2023 y Martínez-Rodríguez *et al.*, 2024). El promedio de porcentaje de acidez osciló entre 0.66 (Huehuetán) y 0.88 (Tapachula); para los 3 casos, con forme fueron pasando los días, el porcentaje de ácido cítrico tuvo notable tendencia a descender (Figura 11), esto se debe al consumo de ácidos orgánicos y otros componentes químicos por respiración y transpiración (Chitarra y Chitarra, 2005). Los frutos que fueron cosechados en etapa 3 (Tapachula) presentaron mayor acidez, esto generó la diferencia significativa en el IS, el cual se

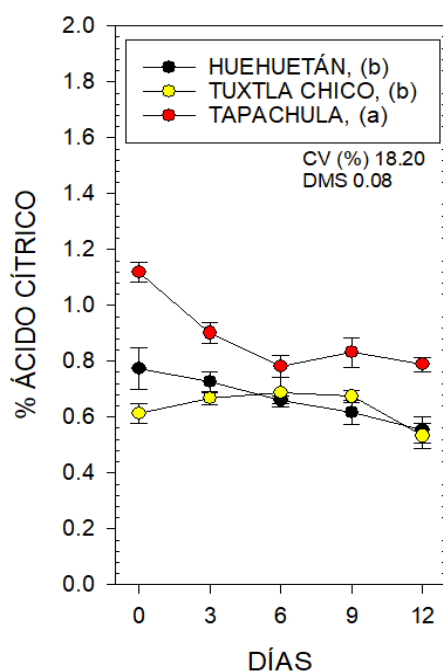


Figura 11. Dinámica de acidez titulable (%) en pulpa durante la poscosecha de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

corroborar en la correlación de Pearson (Cuadro 12). Las diferencias se deben a la etapa más temprana de cosecha en el municipio de Tapachula por lo que dichos frutos no habían llegado a la misma madurez que los frutos de los otros dos municipios. En un estudio anterior en T. Chico; Martínez-Rodríguez *et al.* (2024) reportó frutos con acidez muy elevados, los cuales oscilaron entre 2.5 y 3.5%. Mustafa *et al.* (2018), con frutos cosechados en etapa 5, reportaron un 8% al día 0 después de cosecha, disminuyendo a 4 % al día 12 después de cosecha. En este sentido, el comportamiento es igual pero los valores en este trabajo son menores. Palapol (2009) menciona que, no importa en qué etapa se cosechó la fruta, todas maduran de manera que no se presentan diferencias significativas en la calidad de la fruta. Según Kader (2013), el parámetro de calidad en AT es de 0.7 a 0.8%, siendo así que, lo reportado en esta investigación entra en dicho parámetro de calidad.

Cuadro 12. Coeficiente de correlación de Pearson entre SST, AT, AZUT e IS.

Variables	Correlación
SST vs AT	0.00993*
SST vs IS	0.31890**
SST vs AZUT	0.33003**
AT vs AZUT	0.03008*
AT vs IS	-0.89533***
IS vs AZUT	0.00936*

Sólidos solubles totales; AT: Acidez titulable; IS: Índice de sabor; AZUT: Azúcares totales. *: No significativo, **: Significativo, ***: Altamente significativo

El índice de sabor se incrementó en los frutos de los tres municipios, los de Tapachula comenzaron con 15.67 alcanzando su máximo al día 6 (Figura 12), posteriormente se mantuvo hasta el día 12; contrario a los frutos de Huehuetán/T. Chico, cuyo índice de sabor fue de 25.62 y 26.59 respectivamente, llegando hasta 35.25 y 33.1 (Figura 12). Huehuetán presentó mayor índice de sabor con 28.97 con

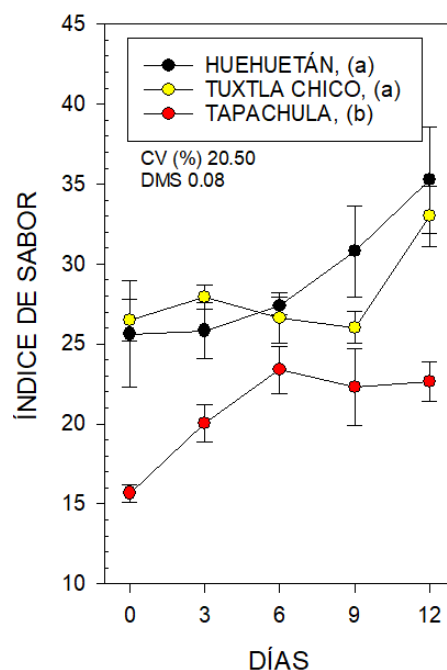


Figura 12. Dinámica de índice de sabor de la pulpa durante la poscosecha de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

diferencia significativa en relación con Tapachula (Cuadro 11). La diferencia se debió al mayor porcentaje de acidez en frutos de Tapachula (Cuadro 11). Palapol *et al.* (2009), presenta resultados menores a los expuestos en esta investigación, sus resultados para frutos cosechados en etapa 3 fue de 21.9 llegando a etapa 6, mientras que los frutos cosechados en etapa 5 fue de 23.5 llegando a etapa 6.

Correspondiente a los azúcares totales, no se detectaron diferencias significativas entre municipios ($P \leq 0.05$) (Figura 13), Tapachula tuvo su máximo el día 6 con 212.85 mg g^{-1} , además, presentó el mayor promedio con 186.13 mg g^{-1} , seguido de Huehuetán con 183.82 mg g^{-1} con un máximo el día tres después de cosecha (215.26 mg g^{-1}) y al final T. Chico con 173.25 mg g^{-1} en promedio y un máximo de 194.57 al día 12 después de cosecha. Lo anterior sugiere que los frutos cosechados en etapa 3 (Rosa-rojizo) ya presentan el desarrollo máximo de azúcares en el fruto. Poco se ha reportado sobre los azúcares totales de la pulpa del mangostán, Kanchanapom and Kanchanapom (1998) y Machado *et al.* (2018)

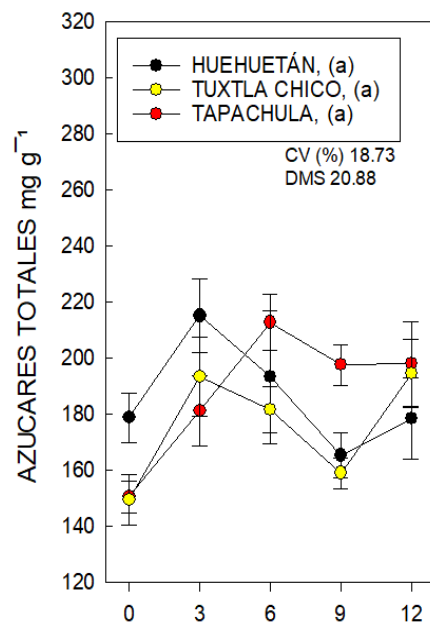


Figura 13. Dinámica de azúcares totales durante la poscosecha de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

reportan valores que van de 17.5 – 18.5 %, valores similares reportados en esta investigación. Por otro lado, anteriormente en Tuxtla Chico, Chiapas, se reportaron valores entre 150 y 280 mg g⁻¹ p.f. con un valor promedio de 21.5 % por lo que se sugiere que en Tuxtla Chico se pueden obtener frutos de mangostán de muy altas cantidades de azúcares (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2024).

4.3.2 Fenoles totales en pulpa y cáscara

Los compuestos fenólicos en pulpa disminuyeron conforme pasaron los días (con excepción de los frutos de Tapachula, los cuales no presentaron una tendencia clara), lo que sugiere que los frutos se encontraban en su mayor etapa de maduración, no se presentaron diferencias significativas. El rango en general fluctuó en 159.5 a 257.7 mg EAG 100 g⁻¹ (Figura 14), donde Tapachula presentó el mayor promedio con 213.58 mg EAG 100 g⁻¹ y T. Chico el menor con 196.48 mg EAG 100 g⁻¹; el CV fue de 23.62% (cuadro 14); En Malasia, Chew y Lim (2018) reportan 83.8

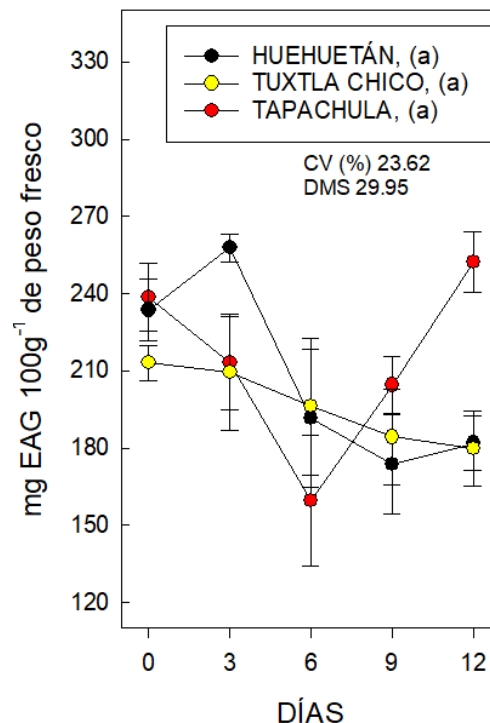


Figura 14. Dinámica de fenoles totales mg EAG 100 g⁻¹ de peso fresco de pulpa de frutos de mangostán durante la poscosecha cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

± 8.7 mg EAG 100 g⁻¹; en frutos de Tailandia, Muzykiewicz *et al.* (2020) registraron valores entre 54 y 183 mg EAG 100 g⁻¹ en pulpa fresca y 24 a 109 mg EAG 100 g⁻¹ en pulpa congelada, dichos valores están por debajo de lo reportado en este trabajo. Con los resultados se puede inferir que, debido a su contenido de compuestos fenólicos, la pulpa de mangostán además de su buen sabor, muestra potencial como promotor de la salud.

Los resultados en cáscara fueron más altos, presentó de 10 hasta 36 veces más compuestos fenólicos que en pulpa. T. Chico y Huehuetán presentaron una notable tendencia a crecer presenciando en ambos casos la mayor cantidad de compuestos fenólicos al día 12 con promedios de 11480 y 7780 mg EAG 100 g⁻¹, a diferencia de Tapachula que fue estable durante todo el estudio (Figura 15). Se presentó diferencia significativa entre Tapachula y T. Chico/Huehuetán de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), los promedios oscilaron entre 1613.6 a 7176.7 mg EAG

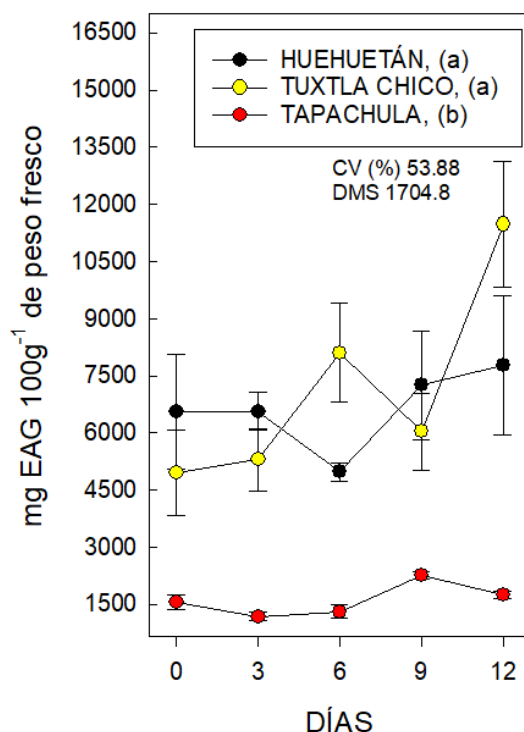


Figura 15. Dinámica de fenoles totales mg EAG 100 g⁻¹ de peso fresco de epidermis de frutos de mangostán durante la poscosecha cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba ($P \leq 0.05$).

100 g⁻¹, donde Tapachula fue quien registró el menor promedio y T. Chico el mayor promedio (Cuadro 13); se propone que la notable diferencia se debe a las diferentes condiciones agroclimáticas y al diferente estado de madurez de los frutos (Huehuetán/T. Chico – Tapachula) en el momento de la cosecha.

Resultados similares han sido reportado también por diversos autores como Mosquera-Martínez *et al.* (2020) y Zadernowski *et al.* (2009). Alrededor del mundo se ha respaldado el gran contenido de compuestos fenólicos en la cáscara de *G. mangostana*, hecho que resulta de interés para el consumidor -e industria farmacéutica-, quien se beneficia con la alta actividad antioxidante en la cáscara; se han registrado valores que van de 1 000 hasta 24 500 mg EAG 100 g⁻¹, cabe mencionar que, los valores más altos se han presentado en muestras de cáscara seca/deshidratada/liofilizada y triturada, mientras que en muestras frescas se han

reportado valores de 1 000 a 12 000 mg EAG 100 g⁻¹ (Nawawi *et al.*, 2023; Siti azima *et al.*, 2017; Muzykiewicz *et al.* 2020; Sungpud *et al.*, 2020; Vo *et al.*, 2023;); lo

Cuadro 13. Fenoles totales en pulpa y epidermis de frutos de mangostán (*Garcinia mangostana* L.) cosechados en tres localidades de la región Soconusco, Chiapas.

LOCALIDAD	mg EAG 100 g⁻¹ de pulpa	mg EAG 100 g⁻¹ de cáscara
Huehuetán	207.68 a	6627.3 a
Tuxtla Chico	196.48 a	7176.7 a
Tapachula	213.58 a	1613.6 b
CV (%)	23.62	53.88
DMS	29.95	1704.8

Medias con letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). EAG: Equivalentes de ácido gálico.

anterior sugiere que los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango reportado en otros países, por lo que se podría competir en el mercado internacional. Se recomienda que en las futuras evaluaciones de fenoles se realice con material seco y en polvo, esto para obtener el mayor contenido de fenoles, además, este proceso es el realizado para la elaboración de tés.

Factores como las condiciones agroclimáticas, el momento de la cosecha, las condiciones de almacenamiento y los procedimientos analíticos utilizados para la extracción y cuantificación de compuestos fenólicos podrían contribuir a las diferencias (Nacz & Shahidi, 2004).

4.3.3 Extracción y cuantificación de antocianinas

El nivel de antocianinas registrados tuvo tendencia a incrementarse conforme pasaron los días, este incremento tiene relación con el cambio de color de rosa rojizo (etapa 3) a púrpura negro (etapa 6) en la epidermis de *G. mangostana*, se ha comprobado que el color púrpura de la epidermis del mangostán se debe a las antocianinas, principalmente cyanidin-3-sophoroside y cyanidin-3-glucoside (Palapol *et al.*, 2009). El promedio general fluctuó de 26.24 a 105.44 mg cyn-3-glu L⁻¹ con un CV de 58% (Cuadro 14). Se presentó diferencia significativa entre

Huehuetán/T. Chico y Tapachula, dicha diferencia se le atribuye a la distinta etapa de maduración en la cosecha, los frutos de Tapachula (etapa 3) no presentaban color púrpura al inicio de la evaluación y sus niveles de antocianinas (7.19 mg cyn-3-glu L⁻¹) estuvieron muy por debajo en comparación con los frutos de Huehuetán/T. Chico, al llegar al día 12 de evaluación los frutos ya presentaban color púrpura (etapa 6) y los niveles de antocianinas (61.7 mg cyn-3 glu L⁻¹) fueron similares que

Cuadro 14. Niveles promedios de antocianinas monoméricas (mg de cianidina-3-glucósido equivalente L⁻¹) en epidermis de frutos de mangostán (*Garcinia mangostana* L.) cosechados en tres localidades de la región Soconusco, Chiapas.

LOCALIDAD	Antocianinas totales (mg cyn-3-glu L ⁻¹)
Huehuetán	105.44 a
Tuxtla Chico	93.86 a
Tapachula	26.24 b
CV (%)	58.03
DMS	26.86

Medias con letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

los frutos de Huehuetán/T. Chico al inicio del estudio (día 0) (Figura 16), los cuales comprendieron en 57.41 y 45.42 mg cyn-3-glu L⁻¹ respectivamente, tanto Huehuetán como T. Chico presentaron su pico máximo el día 12 con 157.52 y 166.54 mg cyn-3-glu L⁻¹ (Figura 16).

Lo reportado en nuestra investigación estuvo por debajo de lo reportado por Hiranrangsee *et al.* (2016) en Tailandia con cáscara fresca y deshidratada hasta llegar al 20% de humedad y posterior extracción de antocianinas por los métodos de maceración (233.6 y 211.9 mg Cyn-3-Glu L⁻¹), agitación en baño maría (190.7 y 192.6 mg Cyn-3-Glu L⁻¹) y UAE (Ultrasound-assisted anthocyanin extraction) (235.4 y 208.3 mg Cyn-3-Glu L⁻¹); Nawawi *et al.* (2023), expuso valores más altos que Hiranrangsee *et al.* por el método de pH diferencial en cáscara liofilizada y extractos de etanol, el promedio fue de 2280 mg kg⁻¹. Por otro lado, también se han reportado niveles muy por debajo a lo reportado en nuestro trabajo, tal es el caso de

Muzykiewicz *et al.* (2020) y Melia *et al.* (2019), con valores de 25 mg Cyn-3-Glu L⁻¹ y 18.5 mg Cyn-3-Glu L⁻¹.

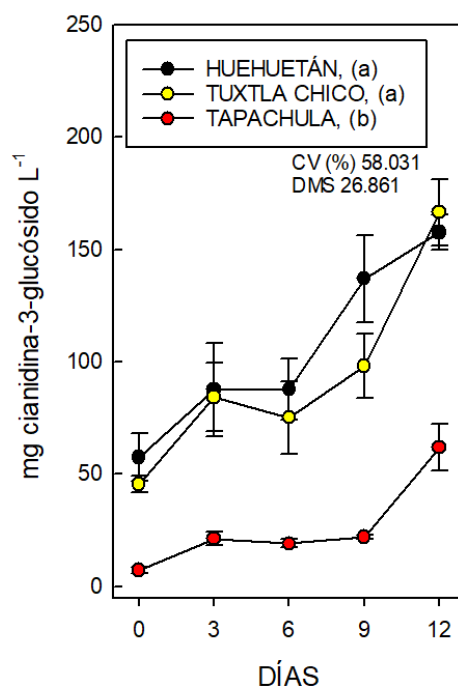


Figura 16. Dinámica de antocianinas monoméricas (mg L⁻¹ equivalente de cianidina-3-glucósido) durante la poscosecha de frutos de mangostán cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Hay diversos factores que influyen en la síntesis de antocianinas en el fruto como las condiciones ambientales, donde los cambios de temperatura favorecen (temperaturas bajas) o disminuyen (climas cálidos) la síntesis de estos compuestos (Leng *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2004; Mori *et al.*, 2005); el manejo de la huerta donde se incluyen el riego, poda y la fertilización son otros factores (Bouzayen *et al.*, 2010), además, la metodología utilizada para la extracción de antocianinas y la utilización de solventes juega un papel muy importante a la hora de extraer compuestos biológicamente activos (Xu *et al.*, 2017). Los niveles de antocianinas que se han encontrado en el epicarpio de mangostán logran superar con creces a niveles reportados en jugos de fresa, frambuesa, cocteles de jugo de arándano y vinos rojos (Lee *et al.*, 2005).

4.3.4 Determinación de la capacidad antioxidante por los métodos DPPH, ABTS y FRAP en pulpa y cáscara

La AA (actividad antioxidante) de la pulpa por la metodología DPPH en los 3 municipios tuvo tendencia a incrementarse, el pico máximo en T. Chico/Huehuetán se presentó en el día 9, mientras que, en Tapachula, se presentó en el día 12 (Figura 17); T. Chico presentó el mayor promedio con $39.22 \text{ mg EAA } 100 \text{ g}^{-1}$ (Cuadro 15), no se presentaron diferencias significativas entre municipios. Chew and Lim *et al.* (2018), reporta con el mismo método valores en pulpa de $35.3 \pm 5.0 \text{ mg EAA } 100 \text{ g}^{-1}$

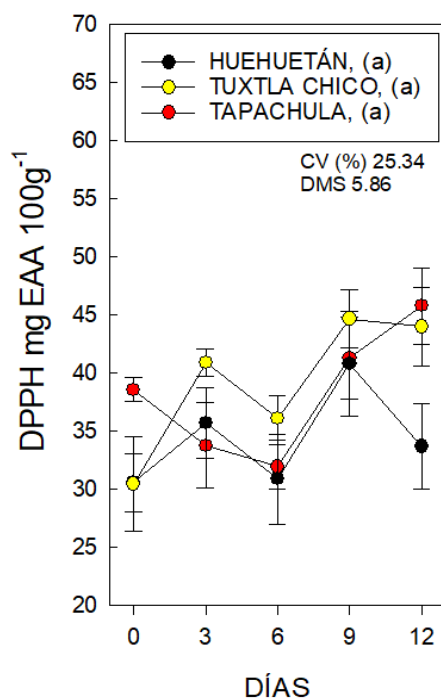


Figura 17. Dinámica de DPPH mg EAA 100 g^{-1} de pulpa de frutos de mangostán durante la poscosecha; cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

¹, datos similares reportados en este trabajo, así mismo, en 2020 se reportaron datos de 30 a $85 \text{ mg EAA } 100 \text{ g}^{-1}$ en pulpa de frutos cosechados en T. Chico, Chiapas (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2024) con el mismo método. La actividad antioxidante evaluada por el método de DPPH en epidermis fue hasta 35 veces más que en pulpa, sin embargo, por el método DPPH se obtuvo la menor AA tanto en pulpa como en cáscara, con esto se respaldan los resultados del 2020, donde se

Cuadro 15. Actividad antioxidante en pulpa y epidermis de fruto de mangostán (*Garcinia mangostana* L.) cosechados en tres localidades de la región Soconusco, Chiapas.

LOCALIDAD	DPPH		ABTS		FRAP	
	(mg EAA 100 g ⁻¹)		(mg EAA 100 g ⁻¹)		(mg EAA 100 g ⁻¹)	
	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara
Huehuetán	35.20 a	1256.65 a	90.05 a	3310.4 a	70.48 a	2796.1 a
T. Chico	39.22 a	1277.89 a	61.24 b	3315.5 a	59.25 a	2410.7 a
Tapachula	38.26 a	619.31 b	76.06 ab	295.3 b	28.87 b	571.9 b
CV (%)	25.34	21.07	41.55	131.64	48.82	90.00
DMS	5.86	136.38	19.38	1869.8	15.89	1067.5

Medias con letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

obtuvo menor AA en pulpa por DPPH (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2024), asimismo, se ha reportado similar AA en pulpa por otros autores como Daza *et al.* (2012) en Colombia quien afirma que, aunque es notoria una buena respuesta del extracto para inhibir el anión superóxido y la peroxidación lipídica, el poder reductor y su capacidad estabilizadora del radical DPPH resultaron moderadamente bajos.

Correspondiente a la cáscara, la actividad de captura se incrementó durante la maduración en los frutos de Tapachula, llegando a su máximo el día 9 con 873.57 mg EAA 100 g⁻¹; T. Chico presentó un ligero aumento del día 0 al 3, el día 6 presentó su máximo promedio y posteriormente fue estable (Figura 18), mientras que Huehuetán, presentó un descenso en el día 9, sin embargo, el promedio en el día 12 fue similar a días anteriores (0, 3 y 6). T. Chico presentó el máximo promedio con 1277.89 mg EAA 100 g⁻¹ presentando diferencia significativa con Tapachula, el cual tuvo menor actividad antioxidante con 619.31 mg EAA 100 g⁻¹ (Cuadro 15). Larasati *et al.* (2020), en Filipinas, reporta un promedio en cáscara más alto que lo reportado en esta investigación (2117 mg EAA 100 g⁻¹), lo que indica la alta AA que se puede encontrar en la cáscara; por otro lado, Ramasamy *et al.* (2016), en Malasia, expone un IC₅₀ de 15.50 mg/L con extractos de metanol. El único electrón del átomo de nitrógeno en DPPH se reduce a la hidrazina tomando un átomo de

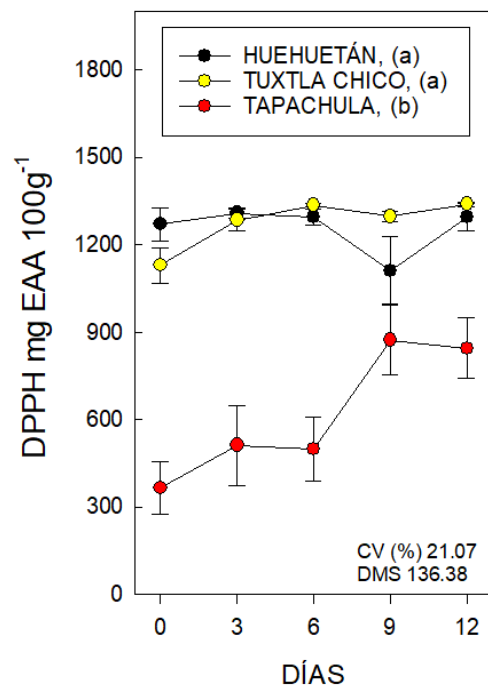


Figura 18. Dinámica de DPPH mg EAA 100 g⁻¹ de cáscara de frutos de mangostán durante la poscosecha cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

hidrógeno de los antioxidantes (Gulcin and Alwasel, 2023), esta capacidad de donación de hidrógeno por parte de un antioxidante le confiere la aptitud para eliminar los radicales DPPH, por lo que los frutos de *G. mangostana* tienen una excelente capacidad antioxidante.

Con el método ABTS se consiguió la mayor AA en pulpa para los 3 municipios, los resultados promedios oscilaron en 61.24 – 90.05 mg EAA 100 g⁻¹ con un CV de 41.55% (Cuadro 15); hubo diferencia significativa entre Huehuetán y Tuxtla Chico. La dinámica en los frutos de Tapachula tuvo ligera tendencia ascendente, el día 0 registró 75.33 alcanzando su pico el día 12 con 95.74 mg EAA 100 g⁻¹ (Figura 19), este comportamiento es el típico en frutas que están en proceso de maduración; Huehuetán presentó el mayor promedio en pulpa (90.05 mg EAA 100 g⁻¹) su pico máximo se registró el día 9 con 121.05 mg EAA 100 g⁻¹, posteriormente en el día 12 tuvo un descenso hasta 76.26 mg EAA 100 g⁻¹ (Figura 19) lo que también sugiere (como en anteriores variables) que el fruto estaba entrando en senescencia. Mismo

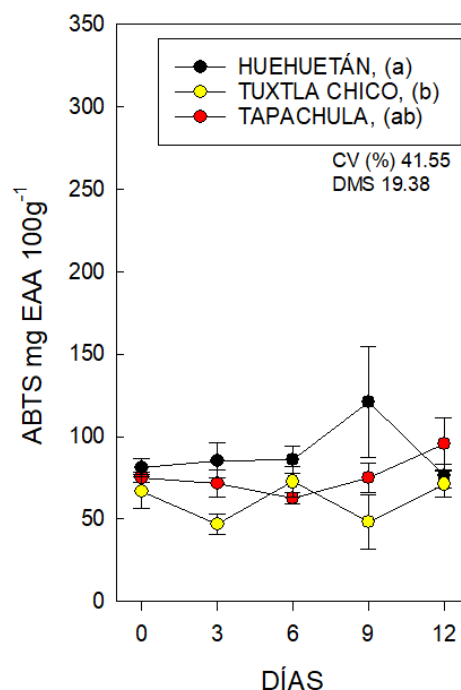


Figura 19. Dinámica de ABTS mg EAA 100 g⁻¹ de pulpa de frutos de mangostán durante la poscosecha; cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

comportamiento en pulpa de mangostán lo reportó Muzykiewicz *et al.* (2020). En el estudio anterior en T. Chico, se expuso una media de 46.6mg EAA 100 g⁻¹ (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2024), en el presente trabajo el resultado fue mayor con 61.24 mg EAA 100 g⁻¹. Se sugiere que la diferencia entre localidades radica en el manejo agronómico entre huertas y no en las condiciones climáticas.

La AA en cáscara por el método de ABTS fue hasta 36 veces más alta que en pulpa y registró la mayor AA por dicho método para los municipios de T. Chico y Huehuetán (3315.5 y 3310.4 mg EAA 100 g⁻¹); contrario a Tapachula, que registró la menor AA por esta metodología (295.3 mg EAA 100 g⁻¹) (Cuadro 15). Los municipios de T. Chico y Huehuetán presentaron dinámica similar, la AA fue ascendente con el paso de los días, comenzando con 1456.65 y 2360.47 mg EAA 100 g⁻¹ (día 0) y llegando a su máximo el día 12 con 7925.91 y 6549.84 mg EAA 100 g⁻¹ respectivamente (Figura 20); Tapachula no presentó diferencia significativa entre los días analizados. Muzykiewicz *et al.* (2020), expuso con extractos de etanol

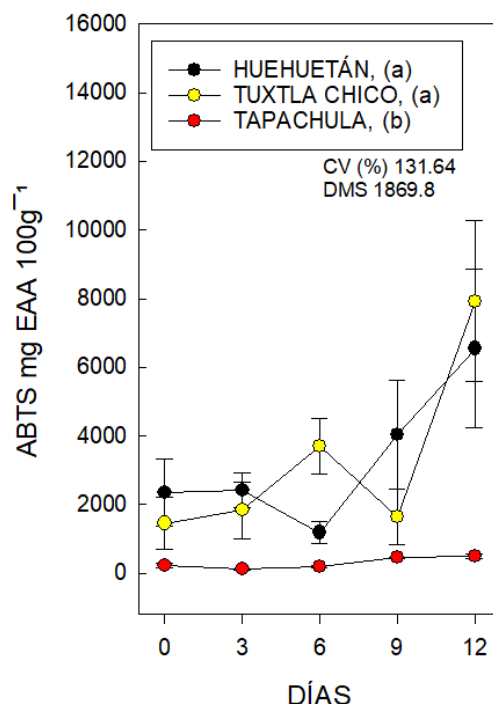


Figura 20. Dinámica de ABTS mg EAA 100 g⁻¹ de cáscara de frutos de mangostán durante la poscosecha cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

a diferentes concentraciones promedios similares -en algunos casos menores- a los reportados, datos de 1258 - 5654 mg EAA 100 g⁻¹ en epicarpio fresco y 1297 -1832 mg EAA 100 g⁻¹ en epicarpio congelado, por otro lado, Larasati *et al.* (2020) en Indonesia, expuso un promedio de 1875 mg de capacidad antioxidante en 100 g⁻¹ de extracto, en extractos de acetato de etilo.

Correspondiente a FRAP, el promedio en pulpa varió de 28.87 – 70.48 mg EAA 100 g⁻¹ (Cuadro 15), hubo diferencia significativa entre Huehuetán/T. Chico y Tapachula de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Huehuetán y T. Chico presentaron altibajos durante todo el análisis, sin embargo, se notó una dinámica estable, mientras que Tapachula mostró un ligero incremento sin llegar a los niveles de AA de los otros 2 municipios (Figura 21); Huehuetán presentó el mayor promedio con 70.48 mg EAA 100 g⁻¹ seguido de T. Chico (59.25 mg EAA 100 g⁻¹) y Tapachula (28.87 mg EAA 100 g⁻¹), Huehuetán presentó su pico máximo el día 9 con 81.54 mg

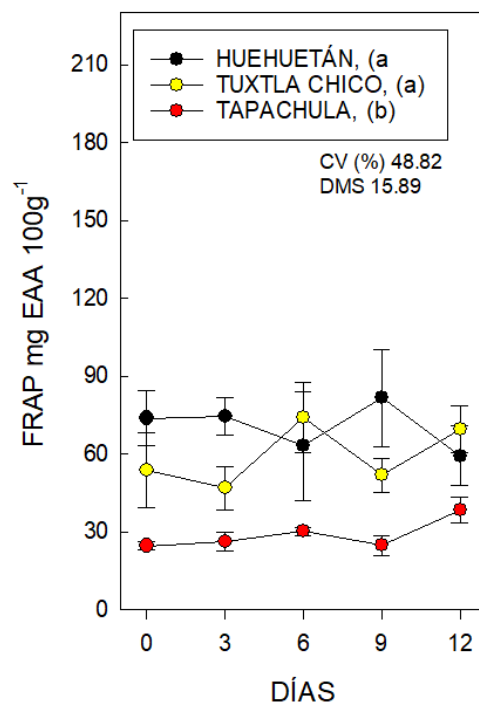


Figura 21. Dinámica de FRAP mg EAA 100 g⁻¹ de pulpa de frutos de mangostán durante la poscosecha cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

EAA 100 g⁻¹, T. Chico fue el día 6 con 74.07 mg EAA 100 g⁻¹ y Tapachula el día 12 con 38.36 mg EAA 100 g⁻¹ (Figura 21). Muzykiewicz *et al.* Reportaron valores por el método de FRAP con extractos etanólicos de pulpa fresca y congelada que oscilaron de 44 – 236 mg FeSO₄ 100 g⁻¹, los valores más altos provinieron de muestras frescas; Chew and Lim (2018), expuso 40 mg EAA 100 g⁻¹ en pulpa fresca, valores similares al estudio realizado en 2024, donde se registró un promedio en FRAP de 46.6 mg EAA 100 g⁻¹ de peso fresco (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2024). En cáscara como en los casos anteriores, el nivel de AA fue mucho más alto (40 veces más), se presentó diferencia significativa entre T. Chico/Huehuetán y Tapachula con un CV alto de 90% y el promedio general fluctuó entre 571.9 – 2796.1 mg EAA 100 g⁻¹ (Cuadro 15). Tapachula tuvo el promedio más bajo y no reflejó aumento significativo del día 0 (475.43 mg EAA 100 g⁻¹) al 12 (886.22 mg EAA 100 g⁻¹) según la DMS (1067.5) (Figura 22), este comportamiento es igual que con el método ABTS

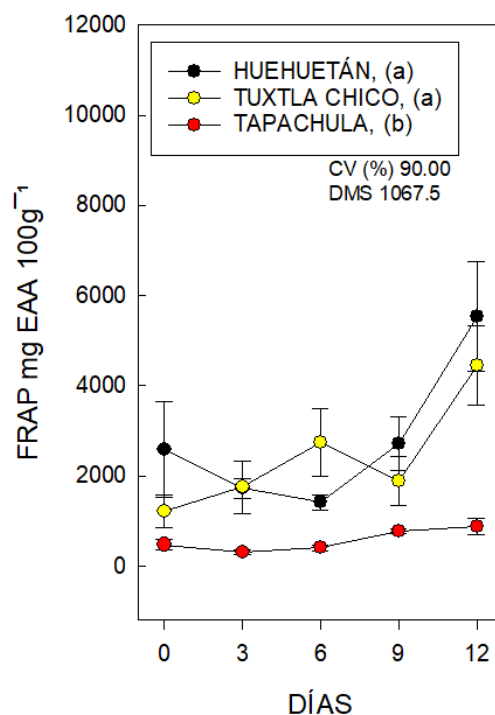


Figura 22. Dinámica de FRAP mg EAA 100 g⁻¹ de cáscara de frutos de mangostán durante la poscosecha; cosechados en 3 localidades en el Soconusco, Chiapas. Cada punto representa la media de 6 repeticiones y su error estándar. Letras diferentes en paréntesis indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

y compuestos fenólicos. Huehuetán y T. chico mostraron tendencia a incrementar su AA, el día 0 registraron 2585.05 y 1216.9 mg EAA 100 g⁻¹ llegando a su pico máximo el día 12 con 5533.68 y 4454.03 mg EAA 100 g⁻¹ respectivamente (Figura 22). En concentrados de pigmentos antocianinos de cáscara de mangostán se registraron poca AA comparado con nuestros resultados (700 µl 100 ml⁻¹) (Netravati *et al.*, 2024), Afifah and Niwat (2015), exponen resultados en extractos de cáscara deshidratada y agua destilada un promedio de 21.49 ± 0.13 mM de ácido ascórbico ml⁻¹ muestra.; Muzykiewicz *et al.* (2020) registró en su estudio de 969 a 1745 mg FeSO₄ 100 g⁻¹ en cáscara fresca y 1060 a 1770 mg FeSO₄ 100 g⁻¹ en cáscara congelada, mientras que, Chew and Lim (2018), reporta valores de 5640 mg GAE 100 g⁻¹ con extractos etanólicos.

En los frutos de los 3 municipios se mostraron altas propiedades antioxidantes evaluados por todos los métodos, donde la mayor actividad se presentó por ABTS.

La pulpa y cáscara de *G. mangostana* demostraron su potencial en la captura de radicales libres, lo que beneficia notablemente a la salud humana; la mayor actividad se encontró en la cáscara, esto es debido al contenido de diversos metabolitos secundarios como: xanthonas, flavonoides, compuestos fenólicos y alcaloides en la cáscara (Aizat *et al.*, 2019b). La diferencia en actividad antioxidante en este trabajo y alrededor del mundo se atribuye a las diferentes condiciones agroclimáticas, al manejo agronómico que se realiza en el cultivo, pero más significativamente a las distintas metodologías y extractos elaborados con solventes orgánicos. La diferente etapa de maduración en frutos de Tapachula al momento de la cosecha representó alta diferencia significativa en AA. Por lo que se puede sugerir que la AA en la cáscara de frutos de *G. mangostana* cosechados en etapas tempranas (3) no logran el mismo desarrollo que frutos cosechados en etapas posteriores (5, 6).

Como comentario final: hoy en día, el mangostán ha sido considerado por diversos autores (Bohra, 2024) como uno de los cultivos prometedores del futuro a causa de su alta cantidad de compuestos nutraceuticos, su sabor único, superior, su vida de anaquel largo, su gran capacidad para el procesamiento, su mínima incidencia de plagas y enfermedades, y, lo más significativo, la importante aprobación que ha despertado en los consumidores. Por consiguiente, el desarrollo de genotipos deseables en el mangostán a través de ecotipos de calidad, podría ayudar a la expansión del cultivo también en áreas no convencionales.

5. CONCLUSIÓN

La pulpa y cáscara de *G. mangostana* cultivados en el Soconusco, Chiapas, demostraron su potencial en la captura de radicales libres, lo que beneficia notablemente a la salud humana.

Tapachula presentó mejores características físico-morfológicas y fisiológicas que destaca para la industria alimentaria, mientras que Huehuetán y Tuxtla Chico destacaron en las bioquímicas para la industria farmacéutica. En todos los casos, se demostró que, en el Soconusco, Chiapas, se pueden obtener materiales de alta calidad que contribuya a programas futuros en mejoramiento genético y producción para fortalecer el cultivo de *G. mangostana* en la zona.

Se corroboró que la cáscara cuenta con moléculas altamente potenciales para su explotación y que los frutos de *G. mangostana* cultivados en el Soconusco muestran potencial antioxidante y calidad para uso en la industria alimentaria y farmacéutica.

6. LITERATURA CITADA

- Abood, W.N., S.W. Bradosty, F.K. Shaikh, N.A. Salehen, R. Farghadani, N.F.S. Agha, M.H. Al-Medhtiy, T.D.A. Kamil, A.S. Agha y M.A. Abdulla. 2020. *Garcinia mangostana* peel extracts exhibit hepatoprotective activity against thioacetamide-induced liver cirrhosis in rats. *Journal of Functional Foods* 74:104200. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104200>
- Afifah, R.A. y C. Niwat. 2015. The Use of Mangosteen Pericarp (*Garcinia mangostana* L.) Extract to Fortify the Green Tea Drink enhanced Antioxidant Activity. *KKU Research Journal* 20(3):305-313.
- Aizat, W.M., F.H. Ahmad-Hashim y J.S.N. Syed. 2019a. Valorization of mangosteen, “The Queen of Fruits”, and new advances in postharvest and in food and engineering applications: A review. *Journal of Advanced Research* 20:61-70. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.05.005>
- Aizat, W.M., I.N. Jamil, F.H. Ahmad-Hashim y M.N. Normah. 2019b. Recent updates on metabolite composition and medicinal benefits of mangosteen plant. *PeerJ* 7:e6324.
- Almeyda, N. y F.W. Martin. 1978. Tropical fruits: The mangosteen. *World Farming* 20(8):10,12,20-23.
- A.O.A.C. 1990. Official method of analysis. Association of Official Analytical Chemistry. 16th edición. Hoorwitz, N., P. Chialo, y H. Reynold (eds.). Washington, USA.
- Bayogan E.R.V. y D.R.V. Delgado. 2013. Effects of Relative Humidity on Pericarp Hardening in Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Fruit. *Acta Horti* 989:153-160. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.989.19>
- Benzie, I.F. y J.J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Anal. Biochem* 239(1):70-76.
- Berame, J., N. Lawsin, F. Miguel y J. Chavez. 2020. Morphological variations of mangosteen fruits from Luzon and Mindanao Islands, the Philippines. *Biodiversitas* 21(7):3094-3100. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210729>
- Bissoli, I. y C. Muscari. 2020. Doxorubicin and α -Mangostin oppositely affect luminal breast cancer cell stemness evaluated by a new retinaldehyde-dependent ALDH assay in MCF-7 tumor spheroids. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 124. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.109927>
- Bohra, P. 2024. Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) In: *Handbooks of Crop Diversity: Conservation and Use of Plant Genetic Resources, Fruit and Nut Crops*. Rajasekharan, P.E. & Ramanatha-Rao, V. (eds). Springer Nature Singapore Pte Ltd. pp. 426-443. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-5348-6>
- Bouzayen, M., A. Latché, P. Nath y J.C. Pech. 2010. Mechanism of fruit ripening. In: *plant developmental biology-biotechnological perspectives*. Pua, E. C. y Davey, M. R. (Eds.). Springer-Verlag. Berlin, Germany. Vol. 1. pp 319-339.

- Brand-Williams, W., M. Cuvelier y C. Berset. 1995. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant activity. *Lebensm.-Wiss. Technology. Food Science and Technology* 28(1):25-30.
- Castro, P.P.M.M.F., V.D.A. Anjos, A.C.B. Rezande, E.A. Benato y S.R.T. Valentini. 2012. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 32(4):668-672. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612012005000103>
- Chew, Y. y Y. Lim. 2018. Evaluation and Comparison of Antioxidant Activity of Leaves, Pericarps and Pulps of Three *Garcinia* Species in Malaysia. *Free Radicals and Antioxidants* 8(2):130-134. <https://doi.org/10.5530/fra.2018.2.19>
- Chitarra, A.B. y M.I.F. Chitarra. 2005. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA. 785 p.
- Cui, J., W. Hu, Z. Cai, Y. Liu, S. Li, W. Tao y H. Xiang. 2010. New medicinal properties of mangostins: Analgesic activity and pharmacological characterization of active ingredients from the fruit hull of *Garcinia mangostana* L. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 95(2):166-172. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2009.12.021>
- Dangcham, S., J. Bowen, I.B. Ferguson y Ketsa S. 2008. Effect of temperature and low oxygen on pericarp hardening of mangosteen fruit stored at low temperature. *Postharvest Biol Technol* 50:37-44.
- Daza, R.D., E. Murillo, J. Méndez, W. Murillo, D. Moyano y N. Osorio. 2012. Potencial antioxidante de la cascara del mangostino. *Vitae* 19(1):S355-S356.
- Dede Juanda, Js. y Bambang Cahyono. 2000. Manggis: Budi Daya & Análisis Usaha Tani. Penerbit Kanisius. Yogyakarta, Indonesia. 80p.
- Díaz-Fuentes, V.H. y B.G. Díaz-Hernández. 2011. El mangostán (*Garcinia mangostana* L.): Una alternativa para la reconversión productiva en la región tropical húmeda de México. In: *Tecnologías de producción para el trópico. 65 aniversario del Campo Experimental Rosario Izapa*. López G.G, D.J. Iracheta y Avendaño A.C.H. (eds. Y comps.) INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa. Libro Técnico No. 7. Tuxtla Chico, Chis., México. Pp 74-78.
- Díaz-Fuentes, V.H., B.G. Díaz-Hernández, P.A. Ruíz-Cruz, V. Mariles-Flores, M.A. Cano-García y L.A. Gálvez-Marroquín. 2011. El mangostán *Garcinia mangostana* L. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa. Libro Técnico Número 8. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 200 p.
- Díaz-Fuentes, V.H., P.A. Ruíz-Cruz, W. Nájera-Domínguez, L. Iracheta-Donjuán y L.A. Gálvez-Marroquín. 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.v0i0.1321>
- Díaz-Pérez, J.C. 1998. Transpiration rates in eggplant fruit as affected b fruit and calyx size. *Postharvest Biolog andd Technology* 13:45-49.
- FAO. 2022. Major Tropical Fruits-Market Review 2021. <https://openknowledge.fao.org>. Fecha de consulta: 10 de enero de 2024.

- Gulcin, I., S.H. Alwasel. 2023. DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes* 11(8):2248. <https://doi.org/10.3390/pr11082248>
- Hayama, H., M. Tatsuki, A. Ito y Y. Kashimura. 2006. Ethylene and fruit softening in the stony hard mutation in peach, *Postharvest Biol. Technol.* 41:16e21.
- Hernández, H.C. 2008. Evaluación poscosecha de genotipos de cherimola (*Anona cherimola* Mill.) con potencial comercial cosechado a diferentes estados de desarrollo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México, 106p.
- Hidayat, D.D., R.C.E. Andriansyah, A. Indriati, D.N. Surahman y R. Luthfiyanti. 2020. Studies on geometrical, physical, mechanical and colour properties of mangosteen fruits. *IOP Conference series: Earth and Environmental Science* 462:012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012045>.
- Hiranrangsee, L., K.K. Kumaree, M.B. Sadiq y A.K. Anal. 2016. Extraction of anthocyanins from pericarp and lipids from seeds of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) by Ultrasound-assisted extraction (UAE) and evaluation of pericarp exxtract enriched functional ice-cream. *Journal Food Science Technology* 53(10):3806-3813. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2368-8>
- INEGI. 2010a. Compendio de información geográfica municipal 2010 Huehuetán Chiapas. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 9p. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07037.pdf
- INEGI. 2010b. Compendio de información geográfica municipal 2010 Tapachula Chiapas. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 9p. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07089.pdf
- INEGI. 2010c. Compendio de información geográfica municipal 2010 Tuxtla Chico Chiapas. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 9p. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07102.pdf
- Kader, A.A. 2013. Mangostín (Mangostán): Recomendaciones para Mantener la Calidad Poscosecha, Departament of PlantSciences, University of California, Davis.
- Kanchanapom, K. y M. Kanchanapom. 1998. Mangosteen. In: *Tropical and Subtropical Fruits*. Shaw, P. E., H.T. Chan, y S. Nagi (eds.). AgScience Inc. USA pp 191-216.
- Karthiga, P. 2018. Preparation of silver nanoparticles by *Garcinia mangostana* stem extract and investigation of the antimicrobial properties. *Biotechnology Research and Innovation* 2(1):30-36. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.11.001>.
- Ketsa, S. y R.E. Paull. 2011. Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.). In: *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Yahia E.M. (ed.). Woodhead Publishing. pp 1-30.

- Larasati, F., I. Batubara y Y. Lestari. 2020. The presence of endophytic actinobacteria in mangosteen peel (*Garcinia mangostana*) and its antioxidant activity. *Biodiversitas* 21(4):1488-1497.
- Lee, J., R.W. Durst y R.E. Wrolstand. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC international* 88(5):1269-1278.
- Leng, P., H. Itamura, H. Yamamura y X.M. Deng. 2000. Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Sci. Hortic.* 83(1):43-50.
- Li, X.J., J.H. Hou, G.L. Zhang, R.S. Liu, Y.G. Yang, Y.X. Hu y J.X. Lin. 2004. Comparison of anthocyanin accumulation and morpho-anatomical features in apple skin during color formation at two habitats. *Sci. Hortic.* 99(1):41-53.
- Lotter, J., M. Möller, O. Dean, M. Berk y B.H. Harvey. 2020. Studies on Haloperidol and Adjunctive α -Mangostin or War *Garcinia mangostana* Linn Pericarp on Bio-Behavioral Markers in an Immune-Inflammatory Model of Schizophrenia in Male Rats. *Frontiers in Psychiatry* 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00121>
- Machado, P.Y., A.W. Murillo y R.L. Hennessey. 2018. Aprovechamiento del epicarpio de mangostino (*Garcinia mangostana*), como colorante y antioxidante natural para uso en alimentos. *Revista Repositorio Institucional Universidad de Manizales*. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3592/APROVECHAMIENTO%20MANGOSTINO%20Yefri%20Machado.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Martínez, R.A.E., J.M. Villarreal-Fuentes, P.A. Moscoso-Ramírez, I. Alia-Tejacal y F. Guevara-Hernández. 2024. Caracterización química de frutos de mangostán *Garcinia mangostana* L. cultivados en Tuxtla Chico, Chiapas, México. *Biotecnia* 26:e2410. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2410>.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *Hort Science* 27:1254-1255.
- Melia, S., D. Novia, I. Julyarsi y E. Purwati. 2019. The characteristics of the pericarp of *garcinia mangostana* (mangosteen) extract as natural antioxidants in *rendang*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 287:012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/287/1/012028>
- Mendoza-Willson, A.M.R. y Báez-Sañudo. 2000. Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. *Horticultura Mexicana* 8(2):158-163.
- Merchante, C., J.G. Vallarino, S. Osorio, I. Aragüez, N. Villarreal, M.T. Ariza, G.A. Martínez, N. Medina-Escobar, M.P. Civello, A.R. Fernie, M.A. Botella y V. Valpuesta. 2013. Ethylene is involved in strawberry fruit ripening in an organ-specific manner, *J. Exp. Bot* 64:4421e4439.
- Mori, K., S. Sugaya y H. Gemma. 2005. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. *Sci. Hortic.* 05(3):319-330.

- Morton, J.F. 1987. Mangosteen. *In*: Fruits of warm climates. Morton, J.f. (ed.). Miami, Florida. Pp 301-304.
- Mosquera-Martínez, O.M., M.A. Obando-Cabrera y N. Ortega-Cano. 2020. Chemistry characterization and antioxidant of mangosteen (*Garcinia mangostana* L., Clusiaceae) cultivated in Colombia. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 19(2):167-178. <https://doi.org/10.37360/blacpma.20.19.2.10>
- Mulyono, D., Y. Irawati y M.J.A. Syah. 2021. Identification morphological variability of six mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) As a conservation strategy for local varieties. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 739:012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012076>
- Mustafa, A.M, A. Ali, G. Seymour y G. Tucker. 2018. Delayed pericarp hardening of cold stored mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) upon pre-treatment with the stress hormones methyl jasmonate and salicylic acid. *Scientia Horticulturae* 230:107-116. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.017>
- Muzykiewicz, A., J. Zielonka-Brzezicka, J. Siemak y A. Klimowicz. 2020. Antioxidant activity and polyphenol content in extracts from various parts of fresh and frozen mangosteen. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment* 19(3):261-270. <http://dx.doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0788>
- Naczek, M. y F. Shahidi. 2004. Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*. 1054(1-2):95–111. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.059>
- Nakasone, H.Y. y R.E. Paull. 1998. Mangosteen. *In*: Tropical Fruits. Nakasone, H.Y. y R.E. Paull (eds.). CAB International. Pp 359-369.
- Nardini, M., y I. Garaguso. 2020. Characterization of bioactive compound and antioxidant activity of fruit beers. *Food chemistry* 305:125437. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125437>
- Nawawi, M.N.I., G. Ijod, F. Abas, N.S. Ramli, N.M. Adzahan y E.M. Azman. 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* 12:2351. <https://doi.org/10.3390/foods12122351>
- Netravati, S. Gomez, B. Pathrose, M. Joseph, M. Shynu y B. Kuruvila. 2024. Comparison of extraction methods on anthocyanin pigment attributes from mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit rind as potential food colourant. *Food Chemistry Advances* 4:100559. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100559>
- Noichinda, S. 1992. Effect of modified atmosphere condition on quality and storage life of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit. Tesis de doctorado en ciencias. Kasetsart University, Bangkok, Tailandia, 74p.
- Orozco, C., L. Gutiérrez y A. Sánchez. 2019. Propuesta técnico-económica para el aprovechamiento integral del fruto de mangostino (*Garcinia mangostana*) en

aplicaciones alimentarias. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 452 p.

- Palapol, Y., S. Ketsa, D. Stevenson, J.M. Cooney, A.C. Allan y I.B. Ferguson. 2009. Colour development and quality of mangosteen (*Garcinia mangostana* L) fruit during ripening and after harvest. *Postharvest Biology Technology* 51(1):349-53. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.08.003>
- Patil, P., M. Agrawal, S. Almelkar, M.K. Jeengar, A. More y K. Alagarasu. 2021. In vitro and in vivo studies reveal α -Mangostin, a xanthone from *Garcinia mangostana*, as a promising natural antiviral compound against chikungunya virus. *Virology Journal* 18:47. <https://doi.org/10.1186/s12985-021-01517-z>
- Ramasamy, S., M.N. Afifa, R.N. Asyikin, R.W.N. Asyiqin & S. Manickam. 2016. Bioactivity and Stability Studies of Anthocyanin-Containing Extracts from *Garcinia mangostana* L. and *Etlintera elatior* Jack. *Sains Malaysiana* 45(4):559-565.
- Re R. Pellegrini, N. Proteggente, A. Pannala, A. Yang, M. Rice y C. Evans. 2005. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical action decolonization assay free. *Radical Biology and Medicine* 26: 1231-1337.
- Rueda, S.A., D.J.F. Perez-Dominguez y J. Ireta-Moreno. 2014. El cultivo del mangostán (*Garcinia mangostana*) como una nueva alternativa de producción en el estado de Jalisco (Etapa I). Tercer técnico del proyecto trimestre. INIFAP. Campo experimental Centro Alto de Jalisco.
- Santhanakrishnan, V.P., E. Varun, J.A. Banday, S. Rajesh y K. Rajamani. 2020. Studies on the invitro anticancer activity of mangostin and acetylated mangostin against MCF-7 cell lines. *Chemical Data Collections* 28:100476. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2020.100476>
- Singleton, V.L., R. Orthofer y R.M. Lamuela-Raventós. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* 299:152-178.
- Siti Azima, A.M., A. Noriham y N. Manshoor. 2017. Phenolics, antioxidants and color properties of aqueous pigmented plant extracts: *Ardisia colorata* var. *elliptica*, *Clitoria ternatea*, *Garcinia mangostana* and *Syzygium cumini*. *Journal of Functional Foods* 38:232-241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2017.09.018>
- Sungpud, C., W. Panpipat, A. Sae-Yoon y M. Chaijan. 2020. Polyphenol extraction from mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn) pericarp by bio-based solvents. *International Food Research Journal* 27(1):111-120.
- 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>
- Suyanti, R.A. y A.B.S.T. Roosmani Sjaifullah. 1999. Pengaruh tingkat ketuaan terhadap mutu pascapanen buah manggis selama penyimpanan. *J. HorT* 9:51-58.
- Tac-an A.M.I., A.T. Lacap, E.R.V. Bayogan y C.D.S. Lubaton. 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 9:48-60. <https://doi.org/10.61569/n49qq233>

Trinidad, C.G. 2024. Caracterización morfológica del fruto de mangostán (*Garcinia mangostana*) en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas. Huehuetán, Chiapas, México. pp. 33-36.

Vo, P.T., N.D. Pham, T.V. Pham, H.Y. Nguyen, L.T.V. Vo, T.N.H. Tran, T.N. Tran y D.Q. Nguyen. 2023. Green extraction of total phenolic and flavonoid contents from mangosteen (*Garcinia mangostana*) rind using natural deep eutectic solvents. Heliyon 9(4):e14884. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14884>

Witham, F.H., D.F. Blaydes y R.M. Devlin. 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York, U.S.A. 245 p.

Xu, D.P., Y. Li, X. Meng, T. Zhou; Y. Zhou; J. Zheng; J. Zhang y H. Li. 2017. Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources. International Journal of Molecular Sciences 18(1):96. <https://doi.org/10.3390/ijms18010096>

Yaacob, O y H.D. Tindall. 1995. Mangosteen cultivation. Roma, IT, FAO.100 p. (Plant Production and Protection Paper no. 129).

Yao, T.L., M. Nazre, D. Mckey, R. JalonenJ. Duminil. 2023. The origin of cultivated mangosteen (*Garcinia mangostana* L var. *mangostana*): Critical assessments and an evolutionary-ecological perspective. Ecology and Evolution 13(3):e9792. <https://doi.org/10.1002/ece3.9792>

Yeong, K.Y., K.Y. Khaw, Y. Takahashi, Y. Itoh, V. Murugaiyah y T. Suzuki. 2020. Discovery of gamma-mangostin from *Garcinia mangostana* as a potent and selective natural SIRT2 inhibitor. Bioorganic Chemistry 94:103403. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.103403>

Zadernowski, R., S. Czaplicki y M. Naczek. 2009. Phenolic acid profiles of mangosteen fruits (*Garcinia mangostana*). Food Chemistry 112:685-689. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.030>