



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

REFRIGERACIÓN Y APLICACIÓN DE QUITOSANO EN FRUTOS DE CHIRIMOYA
(Annona cherimola Mill.)

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

P R E S E N T A:

JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. IRAN ALIA TEJACAL

COORDIRECTOR DE TESIS: DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES

Cuernavaca, Morelos, febrero de 2024



REFRIGERACIÓN Y APLICACIÓN DE QUITOSANO EN FRUTOS DE CHIRIMOYA

(*Annona cherimola* Mill.)

Tesis realizada por Jazmín Selene Salazar Díaz, bajo la dirección del comité revisor indicado, aprobada y aceptada como requisito para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

COMITÉ REVISOR:

Director de tesis: Dr. Iran Alia Tejacal

Coodirector: Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes

Dr. Víctor López Martínez

Dr. Porfirio Juárez López

Dra. Gloria Alicia Pérez Arias

Dr. Eduardo Campos Rojas

Dra. Erika Román Montes de Oca

Dr. Nelson Avonce Vergara

Cuernavaca, Morelos, febrero 2024

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del CONACYT por la beca de manutención para realizar estudios de Doctorado, mediante la beca núm. 747920

Se agradece el apoyo parcial del proyecto SADER-CONACyT (Secretaría de Desarrollo Rural-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México) mediante el proyecto Núm. (2015- 04-266891).

Le agradezco muy profundamente mi director de tesis el Dr. Irán Alia Tejacal por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta estancia tan anhelada. Gracias por su guía y por sus consejos.

Un agradecimiento a mi codirector Juan Manuel Villareal Fuentes y mi comité revisor conformado por el Dr. Víctor López Martínez, Dr. Porfirio Juárez López, Dra. Alicia Pérez Arias, Dr. Eduardo Campos Rojas, Dra. Erika Román Montes de Oca y Dr. Nelson Avonce Vergara gracias a su seguimiento otorgado para concluir con los trabajos de investigación.

Agradezco a la M.C Alyn Mariana Palacios por su gran y valioso apoyo que dispuso para enseñarme las metodologías que se realizaron en el laboratorio.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo mis padres Juan Salazar y Josefina Díaz, por ser mi pilar en este mundo

llamado vida que sin su apoyo no estaría en esta etapa de mí vida.

A mis hermanos Jacobo y Viviana apoyarme.

A mi sobrina E. Neliel, por ella seguí adelante para terminar ese proyecto.

A mis ángeles, mis abuelitas Viviana y Petra que siempre me cuidan desde el cielo.

A Ingrid por siempre estar apoyándome en cualquier cosa.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN GENERAL	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN GENERAL	vi
OBJETIVO GENERAL	vii
LITERATURA CITADA	viii
CAPITULO I	1
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVO	5
HIPÓTESIS	5
MATERIALES Y MÉTODOS	5
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
CONCLUSIÓN	18
LITERATURA CITADA	22
CAPITULO II	30
RESUMEN	30
ABSTRACT	31
INTRODUCCIÓN	32
OBJETIVO	33
HIPÓTESIS	33
MATERIALES Y MÉTODOS	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
CONCLUSIÓN	61
LITERATURA CITADA	62

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
CAPÍTULO I	
Figura 1. Cambios de la velocidad de respiración (A), producción de etileno (B), componentes de color (C-E) y pérdida de peso (F) durante la maduración de frutos de chirimoya en tres ciclos de producción. *, ** y ***: Significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey. Cada punto representa la media de seis observaciones ± error estándar.	19
Figura 2. Cambios en firmeza (A), sólidos solubles totales (B), acidez titulable (C), índice de sabor (D), azúcares (E) y vitamina C (F) durante la maduración de frutos de chirimoya en tres ciclos de producción. *, ** y ***: Significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey. Cada punto representa la media de seis observaciones ± error estándar.	20
Figura 3. Fenoles totales (A), flavonoides (B), ABTS (C), DPPH (D) y FRAP (E) durante la maduración de frutos de chirimoya en tres ciclos de producción. *, ** y ***: Significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey. Cada punto representa la media de seis observaciones ± error estándar.	21
CAPÍTULO II	
Figura 1. Velocidad de respiración en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1% (Q). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar	41
Figura 2. Producción de etileno en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1% (Q). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar.	43
Figura 3. Luminosidad (A), cromaticidad (B), ángulo de matiz (C) y pérdida de peso (D) en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1%. Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. *, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey.	47
Figura 4. Cambios de apariencia en frutos de chirimoya almacenados a 12 °C por 21 d.	48
Figura 5. Cambios de apariencia en frutos de chirimoya almacenados a 12 °C por 30 d, previa aplicación de 1-MCP a 500 nL L ⁻¹ .	48
Figura 6. Cambios de apariencia en frutos de chirimoya almacenados a 12 °C por 30 d, previa aplicación de 1-MCP a 1000 nL L ⁻¹ .	49
Figura 7. Cambios de apariencia en frutos de chirimoya almacenados a 12 °C por 30 d, previa aplicación de 1-MCP a 500 nL L ⁻¹ + Quitosano.	49

- Figura 8. Cambios de apariencia en frutos de chirimoya almacenados a 12 °C por 30 d, previa aplicación de 1-MCP a 1000 nL L⁻¹ + Quitosano. 50
- Figura 9. Firmeza (A), sólidos solubles totales (B), acidez titulable (C) e índice de sabor (D) en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1%. Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. *, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey. 54
- Figura 10. Azúcares totales (A) y vitamina C (B) en frutos de Chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1%. Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. *, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey. 57
- Figura 11. Compuestos fenólicos (A) y flavonoides totales (B) en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1%. Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. *, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey. 59
- Figura 12. Actividad antioxidante por el método de ABTS (A), DPPH (B) y FRAP (C) en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1%. Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. *, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey. 61

RESUMEN GENERAL

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) ‘Cuadrada’ se cultiva en Huecahuasco, Ocuilco, Morelos debido a sus características organolépticas y calidad para el manejo poscosecha. Si bien, existen pocas tecnologías poscosechas que han evaluado este fruto para incrementar su vida útil. Se determinaron algunas variables físicas, fisiológicas, químicas y actividad antioxidante para caracterizar su maduración. El fruto mostró un comportamiento climatérico con incremento en la velocidad de respiración y producción de etileno, disminución de L*, C* y h cambiando de color verde a verde opaco. La chirimoya ‘Cuadrada’ mostró mayor vida poscosecha a temperatura ambiente que lo indicado en la literatura, es necesario realizar estudios con otras tecnologías poscosecha para mantener su vida útil y propiedades organolépticas y nutricionales por más tiempo. Se realizaron aplicaciones de 1-MCP (500 o 1000 nL⁻¹) con o sin Quitosano (1%) y refrigerados a 12°C. Los resultados indicaron que la respiración fue menor y el pico climatérico fue retrasado. El etileno su máximo de producción fue retrasado entre 5 y 7 d con aplicación de 1-MCP o 1-MCP + Quitosano, con respecto al testigo. No hubo afectación de pérdida de peso con la aplicación de 1-MCP o 1-MCP + Quitosano. Los cambios de los parámetros de color y la firmeza fueron retrasados en su degradación por la aplicación de 1-MCP o 1-MCP + Quitosano. La acumulación de sólidos solubles totales, acidez titulable, azúcares totales, vitamina C fue retrasada entre 7 y 14 días con la aplicación de 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano. La aplicación de Quitosano no potencio el efecto del 1-MCP en la vida útil de la chirimoya. En conclusión, la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 o 1000 nL L⁻¹ incrementa la vida poscosecha de chirimoya ‘Cuadrada’ en almacenamiento a 12 °C.

Palabras clave: *Annona cherimola*, respiración, 1-MCP, calidad, vitamina C, etileno.

ABSTRACT

The custard apple (*Annona cherimola* Mill.) 'Cuadrada' is grown in Huecahuasco, Ocuilco, Morelos due to its organoleptic characteristics and quality for post-harvest handling. Although, there are few post-harvest technologies that have evaluated this fruit to increase its useful life. Some physical, physiological, chemical variables and antioxidant activity were determined to characterize its maturation. The fruit showed a climacteric behavior with an increase in respiration rate and ethylene production, a decrease in L*, C* and h, changing from green to opaque grass green. The 'Cuadrada' cherimoya showed a longer postharvest life at room temperature than indicated in the literature; it is necessary to carry out studies with other postharvest technologies to maintain its useful life and organoleptic and nutritional properties for longer. Applications of 1-MCP (500 or 1000 nL L⁻¹) were made with or without Chitosan (1%) and refrigerated at 12°C. The results indicated that respiration was lower and the climacteric peak was delayed. Ethylene production maximum was delayed between 5 and 7 d with application of 1 MCP or 1-MCP + Chitosan, with respect to the control. There was no effect on weight loss with the application of 1-MCP or 1-MCP + Chitosan. The changes in color parameters and firmness were delayed in their degradation by the application of 1-MCP or 1-MCP + Chitosan. The accumulation of total soluble solids, titratable acidity, total sugars, and vitamin C was delayed between 7 and 14 days with the application of 1-MCP or 1-MCP + Chitosan. The application of Chitosan did not enhance the effect of 1-MCP on the useful life of the cherimoya. In conclusion, the application of 1-MCP in doses of 500 or 1000 nL L⁻¹ increases the postharvest life of 'Cuadrada' cherimoya in storage at 12 °C.

Key words: *Annona cherimola*, respiration, 1-MCP, quality, vitamin C, ethylene.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) es una de las especies cultivadas del género *Annona*, una fruta subtropical originaria de América del sur. La chirimoya, dentro del grupo de las Anonáceas comestibles es la que representa mejores características organolépticas (Campos y Olmedo, 2020). La palabra chirimoya, nombre para la fruta del árbol de *A. cherimola* Mill. se cree que probablemente provenga de la lengua indígena Quiché (dialecto en maya en Guatemala). Se cree que la connotación de ‘chirimoya’ provenga de la combinación de dos palabras: Quichua chirí o cirí medianamente frío o frío, y muyú, medianamente circular o redondo en términos generales se refiere a un fruto fresco y redondo (De Smet et al., 1999).

Los frutos de la chirimoya son de forma acorazonada, cónica, oval o en muchas ocasiones tienen formas irregulares, esto es debido a la polinización irregular de los más de 100 carpelos. Los frutos pueden medir desde 7.5 hasta 12.5 cm de longitud y pueden llegar a pesar de 200 g hasta 1,500 g. En su morfología existen cinco tipos de chirimoya, esto radica en la presencia de las protuberancias singulares en la cascara del fruto, estos son: lisa, impresa, tuberculada, mamilada y umbonada. Su cascara es delgada y delicada, cuando el fruto es maduro se torna de un color verde oscuro a verde-amarillento (Cerdas et al., 2007). Esta fruta aporta energéticos, hidratos de carbono, minerales como fósforo y potasio, vitamina A, C y niacina, también aporta metabolitos secundarios para la salud humana como fenólicos simples y flavonoides (Morales-Pérez et al., 2015).

La chirimoya perteneciente de la familia de las anonas tiende a ser frutos climatéricos, ya que se caracterizan por la respiración y altas tasas de producción de etileno. Este fruto tiende a madurar rápidamente después de su cosecha y por tal motivo es importante el grado de madurez de dicho fruto en el momento de cosecharlo. Se ha estudiado que la temperatura óptima para almacenar los frutos de chirimoya es mayor de 8-15°C dependiendo del cultivar (Pareek et al., 2011), esto indica que bajo estas condiciones de almacenamiento a baja temperatura no provoca ningún síntoma de daño por frío. La presencia de una barrera artificial la difusión alrededor de la fruta, puede causar distintos efectos, como disminución de los niveles de O₂, aumento de CO₂ y, por ende, cambia el metabolismo del etileno.

Pero su efectividad depende del fruto y donde se aplique y se específicamente de su composición química, por eso se debe hacer un diseño de una cubierta comestible que debe ser establecido

para cada tipo de fruto (Petratrek et al., 1999). El uso de 1-MCP es otra alternativa de conservación que ha tenido un gran auge en los últimos años. Aunque esto depende de factores como la concentración, la temperatura de aplicación, tiempo de exposición, especie y el cultivar (Blankenship y Dole, 2003). Su efectividad del 1-MCP en combinación con refrigeración ha demostrado su efectividad en frutos. Por otro lado, la aplicación combinada de 1-MCP con un recubrimiento comestible a base de quitosano puede retrasar por tres días el pico climatérico, en comparación con los frutos tratados con 1-MCP (Muy-Rangel et al., 2009).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los principales cambios físicos, químicos, fisiológicos y actividad antioxidante durante la maduración de la chirimoya ‘Cuadrada’ en Huecahuasco, Morelos, para poder aplicar tecnologías postcosecha y mejorar la vida anaquel del fruto.

LITERATURA CITADA

- Blankenship, S., Dole, J. 2003. 1-methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology* 28: 1-25.
- Campos-Vargas, R., Olmedo, P. 2020. Subtropical fruits: Cherimoyas. In: *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce*, p: 399-409). Academic Press.
- Cerdas, M. M., Umana, G., Castro, J.J. (2007). Manual de manejo poscosecha de anona (*Annona cherimola* Mill). *Ministerio de Agricultura y Ganadería. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.*
- De Smet, S., Van Damme, P., Scheldeman, X., Romero, J.1999. Seed structure and germination of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.). *Acta Horticulturae*, 497: 269-288.
- Morales-Pérez, A.A., Franco-Mora, O., Castañeda-Vildolaza, Á., Morales-Rosales, E.J. 2015. Inibición del bronceado en cáscara de chirimoya ‘Fino de Jete’ por aplicación de 6-bencilaminopurina. *Scientia Agropecuaria*. 6(2): 91-97.
- Muy-Rangel, D., Espinoza-Valenzuela, B., Siller-Cepeda, J., Sañudo-Barajas, J.A., Valdez Torres, B., Osuna Enciso, T. 2009. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) y de una película comestible sobre la actividad enzimática y calidad poscosecha del mango ‘Ataulfo’. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(1): 53-60.
- Pareek, S., Yahia, E. M., Pareek, O. P., & Kaushik, R. A. 2011. Postharvest physiology and technology of Annona fruits. *Food Research International*, 44(7): 1741-1751.
- Petracek, P. D., Hagenmaier, R.D., Dou, H. 1999. Waxing effects on citrus fruit physiology, pp.71-92. In: *Advances in postharvest diseases and disorders control of citrus fruit*. Schirra, M. (ed). Research Signpost, India.

CAPÍTULO I

Maduración de la chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) 'Cuadrada' cultivada en Huecahuasco, Morelos

RESUMEN

Durante tres años (2019-2021) se colectaron frutas de chirimoya 'Cuadrada' en Huecahuasco, Ocuituco, Morelos y se determinaron algunas variables físicas, fisiológicas, químicas y actividad antioxidante para caracterizar su maduración. La chirimoya 'Cuadrada' mostró un comportamiento climatérico con incremento en la velocidad de respiración y producción de etileno, disminución en L*, C* y h cambiando de color verde a color pasto opaco. La pérdida de peso aumentó, la firmeza disminuyó, los sólidos solubles totales, acidez titulable, el índice de sabor, azúcares totales y vitamina C se incrementaron entre 6 a 11 d después de la cosecha. Los compuestos fenólicos y actividad antioxidante incrementaron durante la maduración y los flavonoides se mantuvieron similares. La chirimoya 'Cuadrada' mostró mayor vida poscosecha a temperatura ambiente que lo indicado en la literatura, y es necesario realizar estudios con otras tecnologías poscosecha para mantener su vida útil y propiedades organolépticas y nutricionales por más tiempo.

Palabras clave: vitamina C, flavonoides, compuestos fenólicos, actividad antioxidante.

ABSTRACT

During three years (2019-2020) fruits of cherimoya 'Cuadrada' were harvested from Huecahuasco, Ocuituco, Morelos and some physical, physiological, chemical and antioxidant activity were determined to describe the ripening process. Cherimoya 'Cuadrada' showed a climateric behaviour with respiration and ethylene production increase, reduction of L*, C* and h changing from green to lawn color. The loss of weight increase, and firmness was reduced, the soluble solids content, titratable acidity, favor index, total sugars and vitamin C were increased between 6 and 11 days after harvest. Phenolics compounds and antioxidant activity were increased during ripening and flavonoids maintain similar values. Chirimoya 'Cuadrada' showed a longer postharvest life at room temperature than indicated in the literature, and it is necessary to carry out research with other postharvest technologies to maintain its the useful life and organoleptic and functional properties for longer.

Key words: vitamin C, flavonoids, phenolic compounds, antioxidant activity.

INTRODUCCIÓN

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) es un frutal perteneciente a la familia Annonaceae, y junto con el saramuyo (*Annona squamosa* L.), guanábana (*Annona muricata* L.), atemoya (*Annona x A. squamosa*), son las especies de mayor interés agronómico debido a que presentan frutos comestibles, y son de diversa importancia en ciertos mercados locales a nivel internacional (Talavera *et al.*, 2023). Se considera que el centro de origen de la chirimoya es Centroamérica y el Caribe, crece mejor en climas subtropicales donde la lluvia promedio anual es entre 600 a 1700 mm y temperaturas anuales entre 17 y 22 °C; actualmente se encuentra

distribuida desde México hasta Sudamérica (Larranaga et al., 2022), Asia, sur de Europa y África (Al Kazman et al., 2022). El cultivo de la chirimoya se tiene registrado desde época precolombinas por las culturas Mayas, Olmecas, Izapa, Chimu, Inca y Moche. Sugiriendo importancia etnobotánica en el continente americano (Hormaza *et al.*, 2020).

El fruto de la chirimoya es generalmente consumido en fresco, aunque su vida poscosecha es corta y esto limita su comercialización (Leal y Paull, 2022). Alique (1995) considera que, dentro de la familia Annonaceae, la chirimoya es la que presenta las mejores características organolépticas. Varios autores indican que, del fruto de chirimoya, la pulpa representa entre 40 y 65 % de total del fruto, la pulpa es subácida y cremosa, blanca, suave, jugosa, dulce y muy fragante, con una consistencia parecida a un natilla, similar a la piña o banano (Anaya-Esparza et al., 2018).

En la literatura la chirimoya es descrita como un fruto con altas cantidades de agua y carbohidratos, y bajo contenido de proteínas y lípidos, además de una buena fuente de fibra dietética; es considerada muy saludable y baja en calorías y es de gran ayuda en la digestión, contiene algunos elementos nutricionales importantes como vitaminas, minerales y aminoácidos (Anaya-Esparza et al., 2018). Recientemente en la pulpa de la chirimoya se han identificado polifenoles, tocoferoles, fitoesteroles, diterpenos y triterpenos con potencial benéfico para el humano (Da Silva et al., 2014).

A nivel internacional, España es el principal productor de chirimoya, además de cultivarse de forma comercial en Portugal, Taiwan, Italia, Australia, México, Perú, Ecuador y California en EUA (Anaya-Esparza et al., 2018). En México, la chirimoya se ha cultivado en Morelos, Hidalgo y Michoacán, mostrando variabilidad en su superficie de producción entre 1980 y 2019, aunque actualmente se tiene baja superficie cultivada (36 ha) debido a que compite con el área

de cultivo de aguacate, los mercados selectivos siguen sosteniendo la producción (Alía et al., 2022; SIAP, 2019). En particular en Morelos, la producción de chirimoya se circunscribe a la región de Huecahuasco, Ocuilco, Morelos donde se tienen aproximadamente 9.8 ha, en dicha región tienen un manejo agronómico incipiente que básicamente se basa en la nutrición con estiércoles y química, aplicación de bioactivadores y fertilizantes foliares, así como el manejo de plagas y enfermedades, podas y cosecha; el rendimiento promedio es de 15 a 20 kg árbol⁻¹ y la producción es comercializada en la CDMX, Puebla, Sonora, Zacatecas, Jalisco, Guerrero, Veracruz y Morelos (Balbuena, 2022). En la región la variedad que producen no tiene registro de su procedencia o nombre (Balbuena, 2022), pero localmente la conocen como ‘Cuadrada’.

Balbuena (2022) indica que el fruto de esta región tiene un comportamiento climatérico, es altamente perecedero, pero la calidad que muestra es competitiva con lo reportado en la literatura, sin embargo, aún no se ha evaluado el perfil de maduración considerando aspectos de calidad, fisiológicos y nutracéuticos durante varios años para conocer el proceso de maduración y mejorar las propuestas de tecnología poscosecha.

Durante la maduración, los frutos son transformados en productos palatables al consumidor, y la preferencia específica de los consumidores por un determinado fruto o variedad es definido por sus atributos organolépticos. Estos atributos dependen de varios factores, tales como el genotipo, las condiciones de desarrollo, la época de cosecha y las condiciones de almacenamiento (González-Agüero et al., 2016). Actualmente no se han realizado una caracterización de la maduración de la chirimoya cultivada en Huecahuasco Morelos, misma que se conoce como la variedad ‘Cuadrada’, lo cual es importante para proponer algunas tecnologías para mantener e incrementar su vida poscosecha.

OBJETIVO

Evaluar durante tres ciclos agrícolas los principales cambios físicos, químicos, fisiológicos y actividad antioxidante durante la maduración de la chirimoya ‘Cuadrada’ en Huecahuasco, Morelos, para poder aplicar tecnologías postcosecha y mejorar la vida anaquel del fruto.

HIPÓTESIS

Los frutos tendrán diferentes cambios fisiológicos, físicos y químicos y de actividad antioxidante en los tres años de evaluación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante tres años 2019, 2020 y 2021, entre agosto y septiembre, colectaron frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ en Huecahuasco, Ocuilco, Morelos (18° 49' - 18° 57' de latitud norte y 98° 44' - 98° 50' de longitud oeste, a 1,600 a 2,700 msnm). Los frutos se colectaron de árboles injertados y se eligió el índice de cosecha utilizado por el productor, cuando los frutos mostraban un cambio de color de la epidermis del fruto de verde oscuro a un verde menos intenso (Balbuena, 2022). Los árboles tenían más de 15 años y el manejo agronómico se basa nutrición con estiércoles y química, aplicación de foliares y bioactivadores, además de manejo de plagas y enfermedades (Balbuena 2022). Los frutos fueron seleccionados en campo homogenizando su tamaño, revisando que no mostraran daños físicos por manejo poscosecha o presencia de plagas (barrenador de semillas, *Talponia batesi*). Posteriormente los frutos se transportaron al Laboratorio de Producción Agrícola de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, donde se dejaron madurar entre 19 y 21 ° C y 60 % HR.

En el laboratorio cada año de evaluación se formaron aleatoriamente seis grupos de seis frutos para determinar los cambios durante la maduración mediante variables destructivas como: firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable, índice de sabor, azúcares totales, vitamina C, compuestos fenólicos, flavonoides, y actividad antioxidante por tres métodos (DPPH, ABTS y FRAP) y un grupo adicional donde diariamente se evaluó la pérdida de peso, la velocidad de respiración, producción de etileno y los parámetros de color de la epidermis del fruto (luminosidad, cromaticidad y matiz). Se considero un diseño experimental completamente al azar donde la unidad experimental fue un fruto y se tuvieron seis repeticiones.

Variables no destructivas

La velocidad de respiración y producción de etileno se determinó por el método estático (Salveit, 2016), donde un fruto se colocó en un recipiente de 5 L de capacidad durante 3 h; posteriormente se extrajo del espacio de cabeza 1 mL del gas, el cual se inyectó en un cromatógrafo de gases Agilent Technologies® 7890A (USA) y se cuantificó la concentración de gases. Las condiciones de temperatura del inyector, horno y detectores DCT (Detector de Conductividad Térmica) y DIF (Detector de Ionización de Flama) para la determinación de CO₂ y etileno, respectivamente, fueron de 150, 80 y 170 °C. Se utilizó nitrógeno como gas de arrastre. Para la cuantificación de la concentración de gases en las muestras, se usó el método de calibración absoluta utilizando estándares (Praxair ®) de CO₂ (460 mg L⁻¹) y etileno (100 mg L⁻¹).

La pérdida de peso se determinó usando una balanza digital (OHAUS®, ProScout SP, 2001, New Jersey, USA) para medir la masa individual cada fruto de chirimoya. La pérdida de peso

acumulada al final del almacenamiento fue reportada en porcentaje (%). Se utilizó la siguiente fórmula: $[(P_i - P_f / P_i) * 100]$, donde P_i = peso inicial, P_f = peso final.

El color de la epidermis se evaluó, en lados opuestos del fruto en la parte ecuatorial con un espectrofotómetro (X-rite, Mod. SP64, USA) que proporcionó lecturas de L^* = luminosidad (0: blanco, 100: negro); C^* = cromaticidad (del gris); h = ángulo matiz (0: rojo, 100: amarillo) (Neguerula, 2012).

Variables destructivas

La firmeza se determinó en cada fruto, se eliminó parte del epicarpio, en la parte ecuatorial de dos lados opuestos, por medio de una estación de pruebas EZ Test modelo: SM-100N-168, con capacidad de 100 N, con un puntal cónico (4.7 mm de diámetro en la base). Se tomó como unidad experimental un fruto con seis repeticiones, tomando como repetición el valor promedio de dos lecturas de cada fruto, reportando los datos en Newton (N).

Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron directamente del fruto, al realizar una incisión en la epidermis del fruto para obtener una gota de jugo de la pulpa, que se colocó en refractómetro Atago PAL-1 (Japón) previamente calibrado con una gota de agua destilada. Los resultados se expresaron en °Brix. La acidez titulable fue determinada por el método de AOAC (1990), el cual consistió en homogenizar 1 g de pulpa con 10 mL de agua destilada, el macerado fue filtrado con papel filtro, y 5 mL de la alícuota del filtrado fueron tomados. Posteriormente se realizó el volumen de titulación con hidróxido de sodio (0.1 NaOH) usando fenolftaleína como indicador; los resultados fueron expresados como porcentaje de ácido cítrico.

Los azúcares totales, se determinarán mediante el método de antrona descrito por Alia *et al.* (2002) usando como referencia una curva de calibración de glucosa. Para esto se tomará 1 g de

pulpa que se colocará en un matraz Erlenmeyer, posteriormente se agregarán 50 mL de alcohol al 80 % y se mantendrán en ebullición por 5 min. La solución alcohólica se dejará enfriar y se guardarán en refrigeración (5 °C) por 15 días hasta su evaluación. La determinación de los azúcares totales se determinará a partir de 1 mL de la solución alcohólica y se evaporará en baño maría. Al residuo se le agregaran 100 mL de agua destilada y se agitará, se tomará 1 mL de la solución y se transferirá a un tubo Falcon adicionándose 2 mL de agua destilada, posteriormente se agregarán 6 mL del reactivo de antrona (0.4 g de antrona + 100 mL de ácido sulfúrico), la aplicación del reactivo de antrona se realizará en baño de hielo. Después, la mezcla de reacción se colocará en ebullición durante cinco minutos, para posteriormente enfriarse en baño de hielo y tomar la lectura en un espectrofotómetro (Genesys® 6, USA) a 600 nm.

La concentración de fenoles totales se realizó conforme a la metodología de Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999). Se homogenizó un gramo de pulpa con 10 mL de agua destilada con ayuda de un Ultra Turrax (IKA®, USA) y, posteriormente, se centrifugó a 9,500 g durante 15 min a 4 °C. Se tomó 0.5 mL del filtrado y se mezcló con 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10), después de 5 min, se adicionaron 2 mL de carbonato de sodio a 7.5 % (p/v) y la mezcla se dejó reposar durante 2 h; posteriormente se realizarán las lecturas en un espectrofotómetro (HACH DR 5000®, USA) a 760 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) en 100g⁻¹ de peso fresco.

El total de flavonoides se determinaron usando la metodología de Arvouet-Grand et al. (1994). Se pesó 1 g de pulpa y se mezcló con 10 mL de metanol; la mezcla se homogenizó con un Ultra Turrax (IKA®, USA) y posteriormente se filtró. A partir del filtrado, se tomaron 2 mL de muestra y se mezclaron con 2 mL de tricloruro de aluminio a 2 % p/v; dejando reposar por 15 min en la oscuridad, se realizaron lecturas de absorbancia a 415 nm en un espectrofotómetro

(HACH DR 5000®, USA). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de quercetina (EQ) en 100g^{-1} peso fresco.

Para el contenido de vitamina C, se siguió la metodología propuesta por Jagota y Dani (1982). La cual es una técnica colorimétrica para estimación de vitamina C usando el reactivo Folin-Ciocalteu. Se pesó 1 g de muestra y se homogenizó con 4 mL de ácido tricloracético (TCA) al 10 % p/v. se colocaron en un baño de hielo durante 5 min, posteriormente se centrifugó a 9,500 g durante 20 min a 4 °C. Para realizar la reacción se utilizaron alícuotas de 0.5 mL del sobrenadante, con 1.5 mL de agua bidestilada y 200 μL del reactivo Folin, se dejó reaccionar en la oscuridad durante 15 min y se leyó la absorbancia a 760 nm. Para estimar el contenido de vitamina C se construyó una curva estándar con ácido ascórbico. La concentración total se expresó en mg por g^{-1} de peso fresco.

Para determinar la actividad antioxidante de las muestras se obtuvieron extractos a partir de 1 g pulpa, para esto se homogenizó con agua destilada (1:10), el homogenizado se centrifugó y el sobrenadante se utilizó para las reacciones químicas. En el método DPPH (1,1 difenil-2-picrilhidrazil), se utilizó la metodología propuesta por Brand-Williams et al. (1995), la actividad antioxidante por el método de ABTS (ácido 1-2'-azinobis(3-etilbenzotiazolín-6-sulfónico) fue cuantificado mediante el método de Re et al. (1999) y finalmente la actividad antioxidante por reducción férrica (FRAP) fue mediante la metodología desarrollada por Benzie y Strain (1996). En todas se realizaron reacciones colorimétricas y los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100g^{-1} peso fresco.

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza, comparación de medidas por el método de Tukey (0.05) y correlaciones por el método de Pearson con ayuda del software SigmaPlot V.14 (Systat, San Jose California).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La chirimoya es un fruto climatérico, con un rápido incremento de la velocidad de respiración después de la cosecha, presentando uno (Liu et al., 2016) o dos máximos (Palma *et al.*, 1993). Durante los tres años de evaluación en los frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ se observó un máximo de respiración a los 5, 6 y 9 (d) (Figura 1 A). La velocidad de respiración fue significativamente mayor (> 50 %) en 2021 comparada con 2019 y 2020 (Figura 1 A). Alique et al. (2000) reportan que la respiración es mayor cuando se cosecha al inicio de la temporada, lo cual no ocurrió en el presente trabajo, ya que los frutos de 2019 se cosecharon con mayor premura (entre 12 y 15 d antes de la cosecha, estos últimos mostraron menor intensidad de respiración (Figura 2 A).

La producción de etileno en los frutos de chirimoya en 2019 se detectó a partir del día 4 después de la cosecha y la mayor producción fue entre los días 7 y 10 d después de cosecha (Figura 1 B). En los frutos de 2020 el etileno se detectó a los 4 d después de la cosecha y el máximo se observó a los 6 d (Figura 1 B). Finalmente, en los frutos cosechados durante 2021 el etileno se detectó desde los 2 d de cosecha, alcanzado la mayor producción de etileno a los 4 d, aunque también se detectaron otros incrementos de producción a los 7 y 9 d después de cosecha (Figura 1 B). La literatura indica que la chirimoya tiene un máximo de producción de etileno después de 3 a 8 d de cosechados (Yonemoto et al., 2002; Manríquez et al., 2014) y se sugiere que el etileno a baja concentración de $2 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ pueden ser suficientes para desencadenar procesos de maduración como la degradación de almidón (Lahoz *et al.*, 1993) y expresión de algunos genes asociados con el ablandamiento de la pulpa (Li *et al.*, 2009).

El análisis de varianza determinó mayor producción de etileno en los frutos de la temporada 2019 (Figura 1 B). Alique et al. (2000) indican que la mayor producción de etileno es cuando los frutos son cosechados al inicio de la temporada, en el presente trabajo se encontró similares resultados.

La luminosidad de la epidermis en los frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ disminuyeron en las tres temporadas de evaluación, de $L^* = 50$ a $L^* = 44.5$ en 2019 y de entre $L^* = 41-42$ a $L^* = 37-38$ en 2020 y 2021 (Figura 1 C). La cromaticidad mostró similar tendencia, ya que durante la maduración disminuyó de $C^* = 26.4$ a $C^* = 21.21$ en los frutos colectados en 2019 y de entre $C^* = 21.9 - 23.8$ a $C^* = 16.2-19.0$ en los frutos colectados en 2020 y 2021 (Figura 1 D). El matiz por otra parte disminuyó de un color tendiente al verde $h = 101.3-104.7$ al color cercano al pasto $h = 91-92$ en los frutos de la temporada 2019 y 2021; en tanto que en los frutos de 2020 el color mostró un cambio menos drástico, de $h = 107.6$ a $h = 103.1$ manteniéndose en color tendiente al verde (Figura 1 E).

Durante la maduración de la chirimoya ‘Cuadrada’ los parámetros de L^* y C^* disminuyeron significativamente, lo que indica que durante ese proceso existió un ligero oscurecimiento (Figura 2) y que se ha reportado por otros autores debido al daño mecánico (Palma et al., 1993). Por otra parte, la disminución del ángulo matiz, se asocia al oscurecimiento debido a que se ha reportado que las clorofilas totales no disminuyen durante la maduración (Martínez et al., 1993). Berger y Galleti (2005) indican que durante la maduración del fruto de chirimoya el cambio de color es muy leve y cuando se cosechan frutos de chirimoya con valores de $L^* > 55.5$ y $C^* > 36$, los frutos alcanzan la madurez de consumo en una semana a una temperatura de 18 °C. Lo anterior confirma que los cambios en los parámetros de color son importantes en la definición de un índice de cosecha.

Los frutos de chirimoya cosechados en 2019, mantuvieron valores significativamente mayores en L^* y C^* , mientras que el matiz fue significativamente mayor en 2020 comparado con 2019 y 2021 (Figura 1 C, D y E), lo que sugiere variación en los parámetros de color y son afectados por las condiciones durante el desarrollo del cultivo.

La pérdida de peso de los frutos de chirimoya cosechados en 2019, 2020 y 2021 se incrementó constantemente durante el periodo de evaluación alcanzando 12.1 (0.8 % d^{-1}), 11.3 (0.9 % d^{-1}) y 15.2 % (1.3 % d^{-1}) al final del experimento (Figura 1 F). Yonomoto et al. (2002) y Cordeiro *et al.* (2013) al evaluar la maduración de Chirimoya ‘Madeira’, ‘El Bumpo’ y ‘Libby’ obtuvieron una pérdida de masa entre 6.9 y 10.6 % (1.2-1.3 % d^{-1}) entre 5 y 8 d después de la cosecha. En algunos productos hortícolas una pérdida de masa de 5 % puede causar que se observen marchitos (Wills y Golding, 2016). En el caso del presente trabajo, aún después de 9-12 d no se observó marchitez en la cascara del fruto (datos no mostrados). La pérdida diaria fue significativamente mayor (1.3 % d^{-1}) en los frutos cosechados en 2019 y 2021, comparados con los frutos de 2020 (1.0 % d^{-1}) (Figura 1 F). Estos resultados sugieren que los frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ tienen una mayor capacidad para evitar los efectos negativos de la pérdida de peso por transpiración.

En los frutos de 2019 la firmeza disminuyó de 20 N a 0.76 N en seis días, durante 2020 el cambio fue de 32.2 a 2.2 N en nueve días y en 2021 el cambio fue de 35 N a 7.8 N en 11 días (Figura 2 A). Fúster y Préstamo (1980), Cordeiro et al. (2103) y González-Agüero et al. (2023) indican que durante la maduración de chirimoya, variedades ‘Madeira’, ‘Campas’, Fino de Jete’ y ‘Concha Lisa’ la firmeza disminuye alcanzando sus valores menores a los 8, 4, 5 y 5 d después de la cosecha, en comparación en el presente trabajo la variedad ‘Cuadrada’ necesito mayor tiempo para perder su firmeza, entre 6 y 12 d. El ablandamiento de la chirimoya se atribuye a la

acción celulasas y poligalacturonasa (Sánchez et al., 1998) y se incrementan los niveles de mRNA de algunas proteínas asociadas a la expresión de enzimas y proteínas de la pared celular (Liu et al., 2016). La firmeza fue significativamente mayor en 2020 y 2021 comparado con 2019 (Figura 2 A).

Los frutos de chirimoya tuvieron entre 5.8 y 7.9 °Bx en la cosecha, posteriormente durante la maduración se incrementó hasta 20.28 °Bx al sexto día en los frutos cosechados en 2019, de 20.7 a 21.9 °Bx a los nueve días en los frutos cosechados en 2020 y 2021 (Figura 2 B). Pareek *et al.* (2011) y Medina-Santamarina et al. (2023) reportan que el contenido de SST en chirimoya se incrementa de 8.3 a 15 a 22.3 °Bx durante la maduración, similar a lo que se encontró en el presente trabajo. Los frutos cosechados en 2019 mostraron significativamente mayor contenido de sólidos solubles totales durante los primeros cuatro días comparados con los frutos cosechados en 2020 y 2021, posteriormente no se detectaron diferencias entre las temporadas de cosecha y que alcanzaron valores similares (Figura 2 B).

La acidez titulable en los frutos cosechados en 2019 se incrementó de 0.15 a 0.21 % durante los nueve días de maduración, en tanto que los frutos cosechados en 2020 y 2021 la acidez aumentó de 0.09 a 0.1 % hasta 0.28 a 0.30 % después de 6 a 9 días y posteriormente disminuye de 0.22 a 0.27 % (Figura 2 C). En ‘Fino de Jete’ y ‘Madeira’ la acidez se incrementa de 0.06 a 0.32 % y 0.113 a 0.256 %, respectivamente, durante un periodo de 5 d (Martínez *et al.*, 1993; Cordeiro et al., 2013). Gonzalez-Agüero et al. (2016) indicaron que la expresión de genes y actividad de enzimas relacionadas con la síntesis y degradación de malato y ácido cítrico se incrementan durante la maduración lo que se asocia con incremento en la concentración de ácido málico y ácido cítrico que contribuye al incremento de la acidez titulable. Los frutos cosechados en 2020

y 2021 mostraron significativamente mayor acidez titulable que los frutos cosechados en 2019 (Figura 2 C).

El índice de sabor (IS) aumento en los frutos cosechados en 2019 de 46.8 hasta 118.12 durante seis días de maduración (Figura 2D). Los frutos cosechados en 2020 y 2021 mostraron un incremento menor, ya que se mantuvo entre 59 y 92 (Figura 2D). Se ha reportado que durante la maduración en ‘Fino de Jete’ el índice de sabor disminuyo de 221 a 53, se mantiene con pocos cambios (IS: 7.3 a 10.6) (Alique et al., 2009) o se incrementa los primeros días de maduración (de 75 a 102) y posteriormente disminuye (entre 54 y 72) (González-Agüero et al., 2016). El aumento en el índice de sabor se asocia a una mayor proporción de sólidos solubles, se sugiere que los azúcares son quienes otorguen mayor importancia en el sabor que los ácidos orgánicos, ya que los cambios de los azúcares son mayores que la acidez titulable (Valero y Serrano, 2010). En los frutos de 2019 el índice de sabor indicó significativamente mayor dulzura de la pulpa comparado con los frutos de 2020 y 2021 (Figura 2 D). Los resultados indican que el IS es una variable que puede ser afectado por las condiciones de suelo, ambiente y manejo agronómico.

En cosecha los azúcares de los frutos de chirimoya se cuantificaron entre 74.38 y 93.83 mg · 100g⁻¹ durante los tres años de evaluación, durante la maduración se incrementaron significativamente hasta alcanzar máximos de 272.84 mg 100g⁻¹ a los seis días en los frutos de 2019, hasta 193.8 mg 100g⁻¹ a los nueve días en los frutos cosechados en 2020 y hasta 128 mg 100g⁻¹ a los nueve días en frutos cosechados en 2021 (Figura 2 E). Los frutos de 2021 tuvieron significativamente menor acumulación de azúcares totales (Figura 2 E). Cordeiro *et al.* (2013) indican que durante la maduración de chirimoya el almidón es transformado en ácidos orgánicos y azúcares libres, lo que se refleja en un incremento de estas variables y de los sólidos solubles totales. El análisis de correlación determinó, fuerte asociación positiva entre SST y azúcares

totales en 2019 ($r= 0.82^{***}$) y menor asociación positiva significativa en 2020 y 2021 ($r= 0.53^{**}$ - 0.54^{**} , respectivamente).

La vitamina C disminuyó en los frutos cosechados en 2019 de 23.77 mg EAA $100g^{-1}$ a 19.3 mg EAA $100g^{-1}$ después de nueve días (Figura 2 F). Caso contrario se determinó en los frutos cosechados en 2020 y 2021 donde la vitamina C se incrementó de entre 22.1 y 25.5 mg EAA $100g^{-1}$ hasta 42.6 y 37.9 mg EAA $100g^{-1}$ después de seis y nueve días de cosechados (Figura 2 F). Gentile et al. (2021) y Anaya-Esparza et al. (2018) reportan que la contiene entre 25.4 y 50.1 mg EAA $100g^{-1}$ de vitamina C, similar a lo encontrado en el presente trabajo. González-Agüero et al. (2016) indican que durante la maduración de chirimoya el ácido ascórbico no presenta cambios, manteniéndose entre 4 y 5 mg EAA $100g^{-1}$ de peso fresco, que comparado con los frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ ésta tiene entre 6 a 10 veces más vitamina C. Los frutos colectados en 2020 y 2021 tuvieron significativamente mayor contenido de Vitamina C (Figura 2 F).

Lo anterior sugiere que la biosíntesis en poscosecha de la vitamina C se modifica en dependencia de las condiciones de cultivo o manejo agronómico.

Los compuestos fenólicos se mantuvieron constante durante la maduración de la chirimoya en los tres años de evaluación (Figura 3 A). En 2019 y 2020 se mantuvo entre 62.1 mg EAG $100g^{-1}$ en la cosecha y 74.5 - 85 mg EAG $100g^{-1}$ durante los nueve y 12 días después de cosechados; en 2021 se mantuvieron entre 30.6 a 46.6 mg EAG $100g^{-1}$ después de nueve días (Figura 3 A). Gentile et al. (2021) al evaluar siete variedades de chirimoya determinaron que los compuestos fenólicos varían entre 28.5 y 274.9 mg EAG $100g^{-1}$ de peso fresco, con un promedio de 75.1 ± 57.9 mg EAG $100g^{-1}$ de peso fresco. Santos *et al.* (2016) reportan que la pulpa de chirimoya contiene una gran variedad de flavan-3-oles, incluidos compuestos galloilados y no galloilados,

sugiriendo que este fruto es una fuente rica de componentes promotores de salud, con la capacidad de prevenir o disminuir el progreso de varios desordenes relacionados con el estrés oxidativo. En 2019 y 2021 se tuvo significativamente mayor contenido de compuestos fenólicos que en 2020 (Figura 3 A). Esto sugiere que las condiciones de cultivo modifican el comportamiento de los fenoles en poscosecha.

Los flavonoides totales tuvieron poco cambio durante la maduración de la chirimoya en los tres años de evaluación (Figura 3 B). El contenido de flavonoides se mantuvo entre 2.9 y 3.8 mg EQ100g⁻¹ (Figura 3 B). Albuquerque et al. (2016) reportan entre 1.31 y 15 mg EQ 100g⁻¹ de flavonoides en la pulpa de cuatro variedades de chirimoya. Entre los flavonoides reportados en la pulpa de chirimoya están las catequinas, epicatequinas y quercetina 3-O-glucoronido los cuales tienen actividad *in vitro* antioxidante y anticancerígena (Gómez-Maqueo et al., 2020).

La actividad antioxidante evaluada por el método de ABTS mostró ligera disminución durante la maduración en los frutos cosechados en 2019, de 110 a 90.77 mg EAA 100g⁻¹, en los frutos de 2020 la reducción fue de 77 mg a 53.3 mg EAA 100g⁻¹; en contraste en los frutos cosechados en 2021 la actividad antioxidante se incrementó de 83.3 a 132.6 mg EAA 100g⁻¹ y posteriormente disminuyó a valores de 93.3 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 3 C). La actividad antioxidante por el método ABTS fue mayor en 2021 (Figura 3 C).

La actividad antioxidante por el método de DPPH disminuyó durante la maduración de los frutos cosechados en 2019 de 111.8 a 71 .5 mg EAA 100g⁻¹, en 2020 disminuyó ligeramente de 116.3 a 91 mg EAA 100g⁻¹ y en los frutos cosechados en 2021 los fenoles se mantuvieron entre 118.7 a 126.9 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 3 D). En 2021 se obtuvo la mayor actividad antioxidante por el método de DPPH (Figura 3 D).

La actividad antioxidante por el método de FRAP fue significativamente mayor en los frutos cosechados en 2020 alcanzados valores entre 63 a 124.8 mg EAA 100g⁻¹, mientras que en 2019 y 2021 la actividad se mantuvo entre 40 y 64 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 3 E). Durante la maduración se observó un ligero incremento en la actividad antioxidante por FRAP, pero no fue significativo (Figura 3 F).

Loizzo *et al.* (2012) indican que extractos de pulpa y epidermis de chirimoya tienen buena actividad antioxidante al evaluarlo por los métodos de ABTS, DPPH y FRAP, por lo que puede ser utilizado no solo como alimento, si no como fuente de compuestos saludables para el desarrollo de suplementos y proteger contra el estrés oxidativo.

En 2020 y 2021 se detectó cierta correlación positiva y significativa entre la actividad antioxidante por FRAP *vs* el contenido de compuestos fenólicos ($r = 0.40^*$) y cierta actividad antioxidante negativa entre la actividad antioxidante por ABTS *vs* la actividad antioxidante por FRAP ($r=0.45^*$). Lo anterior sugiere que la actividad antioxidante en chirimoya se atribuya en mayor proporción a moléculas diferentes a los compuestos fenólicos y flavonoides. En las plantas hay moléculas con alta actividad antioxidante (carotenoides, fenólicos, flavonoides, derivados de antocianinas, ácidos grasos insaturados, vitaminas, enzimas y cofactores) que hacen que sean de interés con fines profilácticos y en la fitoterapia curativa (Munteanu y Apetri, 2021). Se ha reportado la asociación entre los métodos de evaluación antioxidante por ABTS y DPPH, debido principalmente a que tienen similares mecanismos de reacción, esto es, son del tipo de transferencia de electrones (Rumpf *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

Los frutos de chirimoya 'Cuadrada' mostraron cambios de frutos climatéricos, es decir cambios en los procesos fisiológicos, químicos, físicos y de actividad antioxidante que conducen a la senescencia, pero en menor velocidad de lo que sugiere la literatura. Es importante evaluar la refrigeración y otras tecnologías poscosecha para potencializar su vida poscosecha, así como el aporte nutracéutico que contiene. Existió variación anual de la maduración debido a que aún no se tiene un índice de cosecha objetivo del fruto, por lo que es necesario realizar investigación para determinar esta característica. Las condiciones de manejo agronómico y climáticas afectan el comportamiento poscosecha, por lo que es necesario realizar correlaciones para determinar el grado de incidencia en dicho la maduración del fruto y manejo poscosecha.

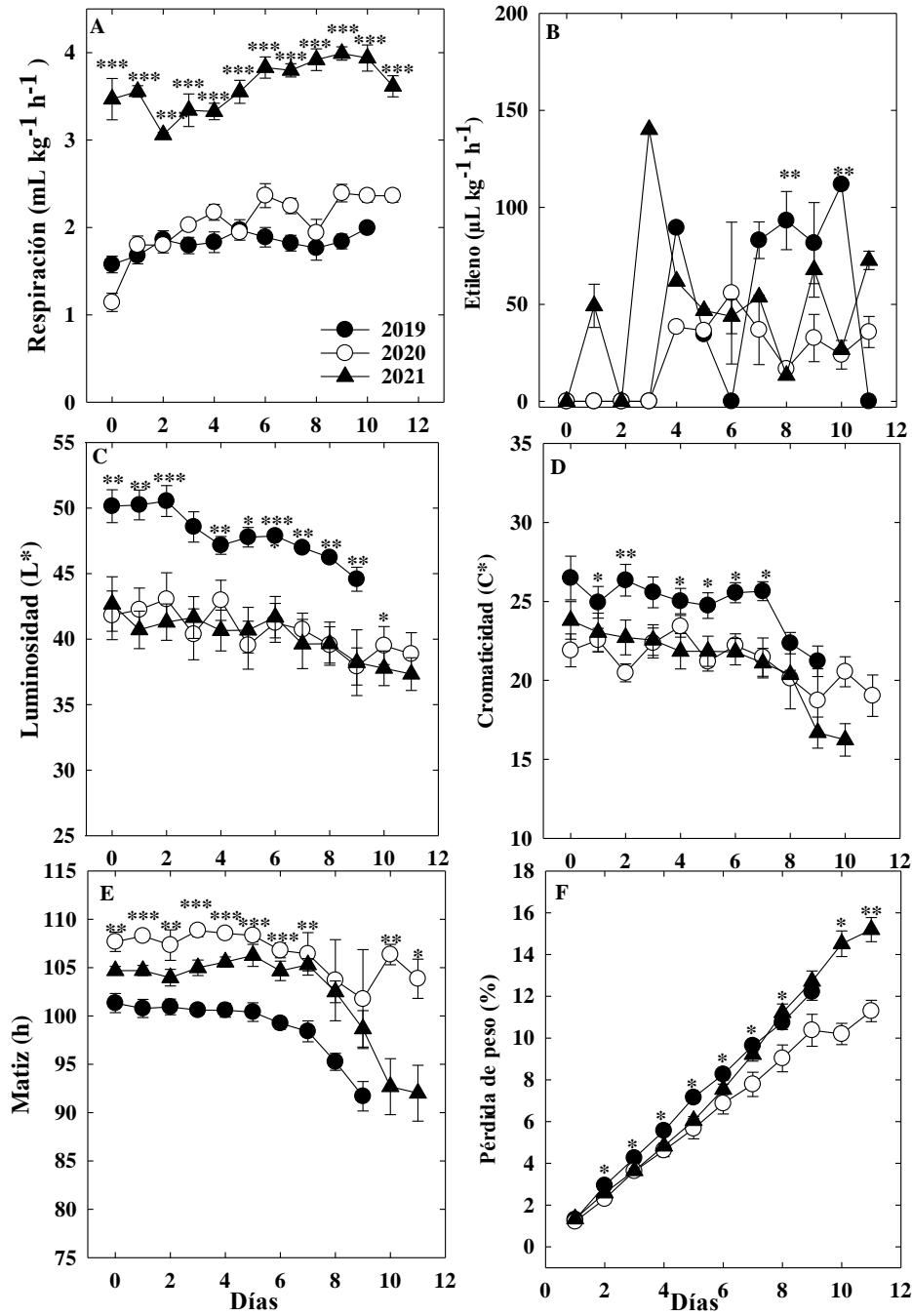


Figura 1. Cambios de la velocidad de respiración (A), producción de etileno (B), componentes de color (C-E) y pérdida de peso (F) durante la maduración de frutos de chirimoya en tres ciclos de producción. *, ** y ***: Significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey. Cada punto representa la media de seis observaciones \pm error estándar.

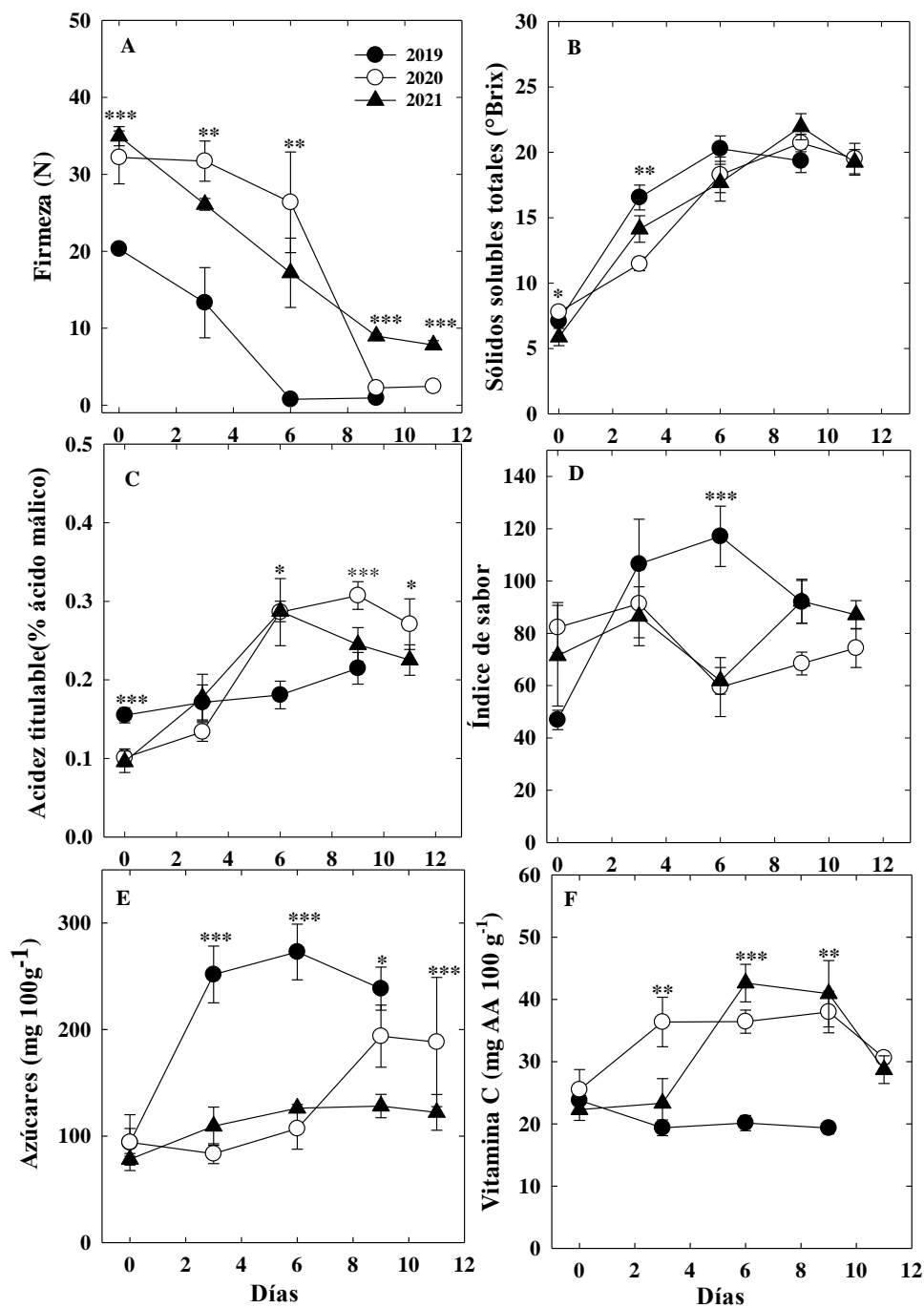


Figura 2. Cambios en firmeza (A), sólidos solubles totales (B), acidez titulable (C), índice de sabor (D), azúcares (E) y vitamina C (F) durante la maduración de frutos de chirimoya en tres ciclos de producción. *, ** y ***: Significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey. Cada punto representa la media de seis observaciones \pm error estándar.

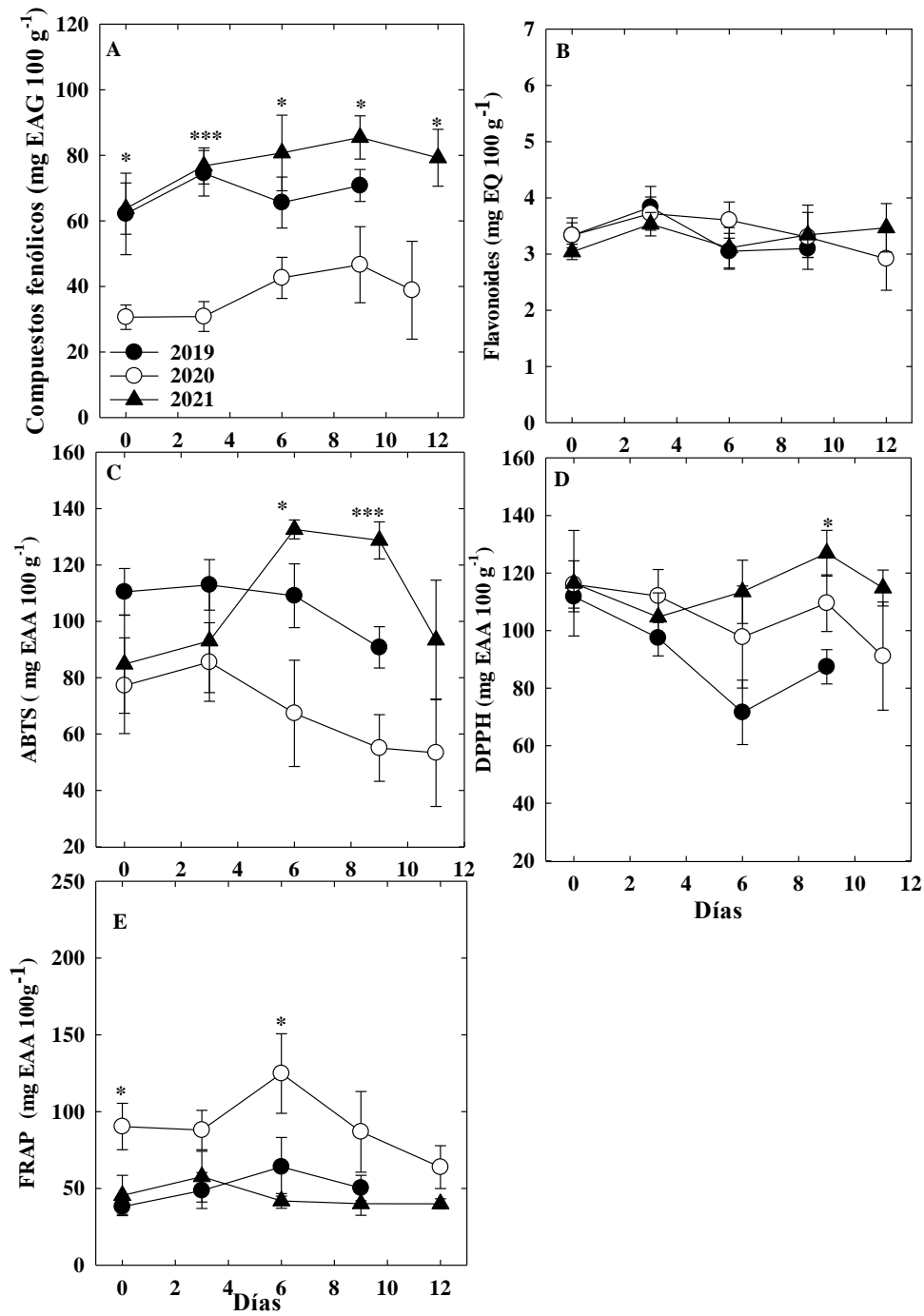


Figura 3. Fenoles totales (A), flavonoides (B), ABTS (C), DPPH (D) y FRAP (E) durante la maduración de frutos de chirimoya en tres ciclos de producción. *, ** y ***: Significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey. Cada punto representa la media de seis observaciones \pm error estándar.

LITERATURA CITADA

- Al Kazman, BSM, Harnett, JE, Hanrahan, JR. 2022. Traditional uses, phytochemistry and pharmacological activities of Annonaceae. *Molecules* 27: 3462. <https://doi.org/10.3390/molecules27113462>
- Albuquerque, TG, Santos F, Sanches-Silva A, Oliveira MB, Bento AC, Costa HS. 2016. Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. fruits and by-products: Potential health benefits. *Food Chemistry* 193: 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.044>
- Alia-Tejacal, I., M. T: Colinas-León, M.T: Martínez-Damián, M. R. Soto-Hernandez. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq.H.E:Moore &Steam) durante postcosecha. *Rev. Chapingo S. Hort.* 8:263-281.
- Alia TI, Avonce VN, Villarreal FJM, Campos RE. 2022. Introducción. In: Poscosecha de anonáceas, Alia, T. I., Villarreal, F. J. M., Campos, R. E. (Coordinadores), pp: 1-21. Universidad Autónoma Chapingo: México.
- Alique R. 1995. Residual effects of short term treatments with high CO₂ on the ripening of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit. *Journal of the Horticultural Science*, 70: 609-615. <https://doi.org/20.2080/14620316.1995.11515333>
- Alique R, Lina P, Hernández T, Martínez MM. 2009. Residual effect of atomised water vapour treatment on carbohydrate metabolism during ripening of cv. 'Fino de Jete' cherimoya fruit, *European Food Research & Technology* 229: 661-669. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.044>

- Alique R, Zamorano JP. 2000. Influence of harvest date within the season and cold storage on cherimoya fruit ripening. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 48(9): 4209-4216. <https://doi.org/10.1021/jf9913561>
- Anaya-Esparza LM, Ramírez-Marez MV, Montalvo-González EM, Sánchez-Burgos JA. 2018. Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) *In: Fruit and Vegetable Phytochemicals: chemistry and human health*. V. II, Yahia, E. M. (Ed.) pp: 993-1002. Blackwell.
- AOAC 1990. *Official Methods of Analysis* (15th edition), Washington, DC: Association of Official Analytical Chemist.
- Arvouet-Grand A, Vennat B, Pourrat A., Legret P. 1994. Standardisation d'un extrait de propolis et identification des principaux constituants. *J. Pharmacie Belgique* 49 (6): 462-468.
- Balbuena, S. O. M. 2022. Cultivo y poscosecha de chirimoya (*Annona cherimola*) de Huecahuasco, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 35 p.
- Benzie IF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem* 239 (1), 70–76 <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Berger H, Galleti L. 2005. Color as a harvest index for chirimoya. *Acta Horticulturae*, 682: 1471-1474. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.682.197>
- Brand-Wiliams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* 28(1): 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

- Cordeiro N, Sousa L, Freitas N, Gouveis M. 2013. Changes in the mesocarp of *Annona cherimola* Mill. 'Madeira' during postharvest ripening. *Postharvest Biology and Technology* 85: 179-184. <https://doi.org/10.1016/j.posthvbio.2013.05.014>
- Da Silva LMR, de Figueiredo EAT, Ricardo NMPS, Vieira IGP, de Figueiredo RW, Brasil IM, Gomes CL. 2014. Quantification of bioactive compounds in pulps and by products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry* 15 (143): 398-404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>.
- Fúster C, Préstamo G. 1980. Variation of cherimoya (*Annona cherimolia*) textura during storage, as determined with and instron food testing instrument. *Journal of Food Science* 45: 142-143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb03890.x>
- Gentile C, Mannino G, Palazzolo E, Guanguzzi G, Perrone A, Serio G, Farina V. 2021. Pomological, sensorial, nutritional and nutraceutical profile of seven cultivars of cherimoya (*Annona cherimola* Mill). *Foods* 10, 35. <https://doi.org/10.3390/foods10010035>
- Gómez-Maqueo A, Escobedo-Avellaneda Z, Welti-Chanes J. 2020. Phenolic compounds in mesoamerican fruits – characterization, health potential and processing with innovative technologies. *International Journal of Molecular Sciences*, 21: 8357. <https://doi.org/10.3390/ijms21218357>
- González-Agüero M, Tejerina PL, Zamudio MS, Contreras C, Undurraga P, Delfilippi BG. 2016. The unusual acid-accumulating behavior during ripening of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) is linked to changes in transcription and enzyme activity related to citric

- and malic acid metabolism. *Molecules* 21: 2-16. <https://doi.org/10.3390/molecules21050398>
- Hormaza JI, Carmona E, González-Padilla IM, Larrañaga N, Lora J, Talavera A, López EC. 2020. *Annona* spp. Atemoya, cherimoya, soursop and sugar apple. *In*: Litz, RE, Pliego-Alfaro F, Hormaza JI. (Eds.) pp: 65-78, CAB International.
- Jagota SK, Dani HM. 1982. A new colorimetric technique for the estimation of vitamin C using Folin phenol reagent. *Analytical Biochemistry* 127 (1), 178–182 [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(82\)90162-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(82)90162-2).
- Lahoz JM, Gutiérrez M, Sola M del M, Salto R, Pascual L, Martínez-Cayuela M, Vargas AM. 1993. Ethylene in cherimoya fruit (*Annona cherimola* Mill.) under different storage conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41: 721-723. <https://doi.org/10.1021/jf00029a008>
- Larranaga N, Fontecha G, Albertazzi FG, Palmieri M, Hormaza JI. 2022. Amplification of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) with chloroplast-specific markers: geographical implications on diversity and dispersión studies. *Horticulturae* 8, 807. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090807>
- Leal F, Paull RE. 2022. The genus *Annona*: botanical characteristics, horticultural requirements and uses. *Crop Science* 2023:1-20. <https://doi.org/10.1002/csc2.20833>
- Li C, Shen W, Lu W, Jiang Y, Xie J, Chen J. 2009. 1-MCP delayed softening and affected expresión of XET and EXP genes in harvested cherimoya fruit. *Postharvest Biology and Technology* 52: 254-259. <https://doi.org/10.1016/j.postharbio.2008.12.009>

- Liu K, Liu J, Li H, Yuan C, Zhong J, Chen Y. 2016. Influence of postharvest citric acid and chitosan coating treatment on ripening attributes and expresión of cell wall related genes in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 198: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scientia.2015.11.008>
- Loizzo MR, Tundis R, Bonesi M, Menichini F, Mastellone V, Avallone L, Menichini F. 2012. Radical scavenging, antioxidant and metal chelating activities of *Annona cherimola* Mill. (cherimoya) peel and pulp in relation to their total phenolic and total flavonoid content. *Journal of Food Composition and Analysis* 25: 179-184. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.09.002>.
- Manríquez DA, Muñoz-Robredo P, Gudenschwagner O, Robledo P, Defilippi BG. 2014. Development of flavor-related metabolites in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit and their relationship with ripening physiology. *Postharvest Biology and Technology* 94: 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.004>
- Martinez G, Serrano M, Pretel MT, Riquelme F, Romojaro F. 1993. Ethylene biosynthesis and physico-chemical changes during fruit ripening of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.). *Journal of Horticultural Science* 68(4): 477-483. <https://doi.org/10.1080/00221589.1993.11516375>.
- Medina-Santamarina J, Guillén F, Madalina IMI, Ruiz-Aracil MC, Valero D, Castillo S, Serrano M. 2023. Melatonin treatments reduce chilling injury and delay ripening, leading to maintenance of quality in cherimoya fruit. *International Journal of Molecular Sciences* 24: 3787. <https://doi.org/10.3390/ijms24043787>

- Munteanu IG, Constantin A. 2021. Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences* 22: 3380. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- Negueruela ÁI. (2012). Is the color measured in food the color that we see? En Caivano JL, Buera MP (Eds.), *Color in food, Technological and psychophysical aspects*, pp: 81-91. Boca Raton, Florida: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11878>
- Palma T, Aguilera JM, Stanley DW. 1993. A review of postharvest events in cherimoya. *Postharvest Biology and Technology*, 2: 187-208. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(93\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0925-5214(93)90047-7)
- Pareek S, Yahia EM, Pareek OP, Kaushik RA. 2011. Postharvest physiology and technology of Annona fruits. *Food Research International* 44(7): 1741-1751. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.016>
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology Medicine* 26 (9-10): 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3).
- Rumpf J, Burger R, Schulze M. 2023. Statical evaluation of DPPH, ABTS, FRAP, and Folin-ciocalteu assays to asses the antioxidante capacity of lignins. *International Journal of Biological Macromolecules* 233: 123470. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.123470
- Saltveit ME. 2016. Respiratory metabolism. En: S Pareek (Ed.). *Postharvest ripening physiology of crops* (pp. 139-156). Boca Raton, Florida: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19043>

- Sánchez JA, Zamorano JP, Zamorano JP, Alique R. 1998. Polygalacturonase, cellulase, and invertase activities during cherimoya fruit ripening. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73(1): 87-92. <https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11510948>
- Santos SAO, Vilela C, Camacho JF, Cordeiro N, Gouveia M, Freire CSR, Silvestre AJD. 2016. Profiling of lipophilic and phenolic phytochemicals of four cultivars from cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) *Food Chemistry*, 211: 845-852. <https://doi.org/10.1016/j.foochem.2016.05.123>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2019. Cierre de la producción agrícola 1980-2020. En línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado el 8 de abril de 2023.
- Singleton VL, R Orthofer, Lamuela-Raventos RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymology* 299: 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Talavera A, Fernández-Pozo N, Matas AJ, Hormaza JI, Bombarely A. 2023. Genomics in neglected and underutilized fruit crops: A chromosome-scale genome sequence of cherimoya (*Annona cherimola*). *Plants People Planet* 2023: 1-16. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10366>.
- Valero, S., Serrano, M. 2010. *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*. CRC Press.
- Wills R, Golding J. 2016. *Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. CABI.

Yonomoto Y, Higuchi H, Kitano Y. 2002. Effects of storage temperature and wax coating on ethylene production, respiration and shelf-life in cherimoya fruit. 71(5): 643-650.
<https://doi.org/10.2503/jjshs.71.643>

CAPÍTULO II

Refrigeración de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) ‘cuadrada’ con aplicación de quitosano y 1-MCP

RESUMEN

La chirimoya ‘Cuadrada’ se cultiva en Huecahuasco, Morelos debido a sus características organolépticas y calidad para el manejo poscosecha. Sin embargo, pocas tecnologías poscosecha se han evaluados para incrementar su vida útil. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue realizar aplicaciones de 1-MCP (500 o 1000 nL L⁻¹) con o sin Quitosano (1 %) y refrigerados a 12 °C para determinar su comportamiento en poscosecha. Los resultados indican que la respiración fue menor y el pico climatérico fue retrasado; mientras que el etileno el máximo de producción fue retrasado entre 5 y 7 d, cuando se aplicó 1-MCP o 1-MCP + Quitosano con respecto al testigo. La pérdida de peso no fue afectada por la aplicación de 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano. Los cambios de los parámetros de color y la firmeza fueron retrasados en su degradación por la aplicación de 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano. La acumulación de sólidos solubles totales, acidez titulable, azúcares totales, vitamina C fue retrasada entre 7 y 14 días con la aplicación de 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano. Los fenoles totales y los flavonoides se retrasaron en su acumulación cuando se aplicó 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano, similar comportamiento se observó en la actividad antioxidante evaluada por el método de ABTS y FRAP, no así por el método por DPPH que disminuyó constantemente. La aplicación de no potencio el efecto del 1-MCP en la vida útil de la chirimoya. En conclusión, la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 o 1000 nL L⁻¹ incrementa la vida poscosecha de chirimoya ‘Cuadrada’ en almacenamiento a 12 °C.

Palabras clave: *Annona cherimola*, compuestos fenólicos, flavonoides, vitamina C, calidad.

ABSTRACT

The 'Cuadrada' cherimoya is grown in Huecahuasco, Morelos due to its organoleptic characteristics and quality for postharvest handling. However, few postharvest technologies have been evaluated to increase its shelf life. Therefore, the objective of this study was to apply 1-MCP (500 or 1000 nL L⁻¹) with or without chitosan (1 %) and refrigerated at 12 °C to determine its postharvest performance. The results indicate that respiration was lower and the climacteric peak was delayed; while ethylene maximum production was delayed between 5 and 7 d, when 1-MCP or 1-MCP + Chitosan was applied with respect to the control. Weight loss was not affected by the application of 1-MCP or 1-MCP + Chitosan. Changes in color parameters and firmness were delayed in their degradation by the application of 1-MCP or 1-MCP + Chitosan. Accumulation of total soluble solids, titratable acidity, total sugars, vitamin C was delayed by 7 to 14 days with the application of 1-MCP or 1-MCP + Chitosan. Total phenols and flavonoids were delayed in their accumulation when 1-MCP or 1-MCP + Chitosan was applied, similar behavior was observed in the antioxidant activity evaluated by the ATS and FRAP method, but not by the DPPH method, which decreased steadily. The application of chitosan did not enhance the effect of 1-MCP on the shelf life of cherimoya. In conclusion, the application of 1-MCP at a dose of 500 or 1000 nL L⁻¹ increases the postharvest shelf life of 'Cuadrada' cherimoya in storage at 12 °C.

Key words: *Annona cherimola*, phenolics compounds, flavonoids, vitamin C, quality.

INTRODUCCIÓN

Se considera que el centro de origen de la chirimoya es Centroamérica y el Caribe, crece mejor en climas subtropicales donde la lluvia promedio anual es entre 600 y 1700 mm, con pocos cambios y fluctuaciones entre temporadas o anuales, además de temperaturas anuales entre 17 y 22 °C; actualmente se encuentra distribuida desde México hasta Sudamérica (Larranaga et al., 2022), Asia, sur de Europa y África (Al Kazman et al., 2022).

Se ha determinado que las regiones del Eje Volcánico Central, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y las provincias altas de Chiapas son excelentes lugares para el desarrollo potencial de este cultivo (Rodríguez-Núñez et al., 2021). En particular en Morelos, la producción comercial de chirimoya se focaliza a la región noreste donde se tienen aproximadamente 10.8 ha (SIAP, 2023). En la región la variedad que cultivan no tiene registro de su procedencia o nombre, pero localmente la conocen como ‘Cuadrada’.

La chirimoya es un producto perecedero con una vida útil entre 3 a 6 días (d) a temperatura ambiente, 20 °C (Pareek et al., 2011). Durante la maduración de la chirimoya ‘Cuadrada’ mostró un comportamiento climatérico con incremento en la velocidad de respiración y producción de etileno, disminución en L*, C* y h cambiando de color verde a color verde opaco. La pérdida de peso aumenta, la firmeza disminuye, los sólidos solubles totales, acidez titulable, el índice de sabor, azúcares totales y vitamina C se incrementan entre 6 a 11 d después de la cosecha. Los compuestos fenólicos y actividad antioxidante incrementaron durante la maduración y los flavonoides se mantuvieron similares (Salazar-Díaz et al., 2023). En refrigeración la vida útil del producto es entre 2 a 4 semanas en temperaturas entre 8 y 15 °C dependiendo de la variedad, etapa de maduración y duración del almacenamiento (Campos-

Vargas y Olmedo, 2020; Yahia, 2019). En la variedad ‘Cuadrada’ no se tiene algún reporte de su comportamiento en poscosecha en refrigeración.

Campos-Vargas y Olmedo (2020) indican que la información sobre la biología de la chirimoya es escasa en la literatura disponible. Sin embargo, se tienen algunos estudios disponibles sobre la descripción fisiológica del fruto, el comportamiento poscosecha, el uso de estrategias de conservación con atmósferas modificadas o mínimamente procesada, el uso de retardadores de maduración, ceras y el comportamiento de algunos desordenes fisiológicos como el oscurecimiento y el daño por frío (Pareek et al., 2011). Sin embargo, en la variedad ‘Cuadrada’ no se han evaluado tecnologías de su conservación.

OBJETIVO

Evaluar el comportamiento fisiológico, físico, químico y antioxidante de la chirimoya ‘cuadrada’ almacenada a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP más quitosano con la finalidad de ofrecer alternativas de incremento en la vida útil del fruto.

HIPOTESIS

La aplicación de 1-MCP a refrigeración a 12°C ayudará a que incremente la vida útil de los frutos de chirimoya.

MATERIALES Y MÉTODOS

En 2021 se colectaron frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ de árboles injertados y se eligió el índice de cosecha utilizado por el productor, es decir cuando los frutos mostraban un cambio de color de la epidermis del fruto de verde oscuro a un verde menos intenso. Los árboles tenían más de 15 años y el manejo agronómico se basó a nutrición con estiércoles y química, aplicación de foliares y bioactivadores, además de manejo de plagas y enfermedades. Los frutos fueron

seleccionados en campo homogenizando su tamaño, revisando que no mostraran daños físicos por manejo poscosecha o presencia de plagas (Barrenador de semillas, *Talponia batesi*).

Posteriormente los frutos se transportaron al Laboratorio de Producción Agrícola de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, donde los frutos se lavaron con una solución de cloro al 1 %, se dejaron secar, para posteriormente formar seis grupos de frutos para aplicar los siguientes tratamientos: 1) Almacenamiento a 12 °C, 2) Almacenamiento a 12 °C previa aplicación de 1-MCP a 500 nL L⁻¹, 3) Almacenamiento a 12 °C previa aplicación de 1-MCP a 1000 nL L⁻¹, 4) Almacenamiento a 12 °C + 1-MCP a 500 nL L⁻¹ + aplicación de quitosano 1 % (Q) y 5) Almacenamiento a 12 °C + 1-MCP a 1000 nL L⁻¹ + aplicación de (Q).

La aplicación de 1-MCP se realizó colocando los frutos en contenedores de plástico de 50 L de capacidad donde se colocó 1-MCP (3.5 % de ingrediente activo, China) en dosis de 500 o 1000 nL L⁻¹ y se liberó con una solución de KOH, adicionalmente se colocaron ventiladores eléctricos para permitir la adecuada homogenización del producto liberado en el recipiente, en esa condición permanecieron durante 12 h. A los frutos que no se aplicó 1-MCP se encerraron en contenedores para simular las mismas condiciones de aplicación.

Una vez que salieron de la aplicación de 1-MCP, a los frutos correspondientes se les aplicó quitosano a 1 % siguiendo la metodología descrita por Sotelo et al. (2022) la cual se generó al disolver 1 g de quitosano de 160 kDa en 100 mL de ácido acético comercial (Clemente Jaques®, México) agitando durante 1 h a temperatura ambiente. La aplicación de la cubierta de quitosano se realizó con una brocha de pelo de camello a cada fruto y se dejaron secar durante 1 h. Posteriormente fueron colocados en charolas de plástico para colocarlos en refrigeración a 12 °C con 80 % de HR.

Se determinaron variables no destructivas donde diariamente se evaluaba en cada tratamiento la velocidad de respiración, producción de etileno, pérdida de peso, cambios de los parámetros de color de la epidermis (L^* , C^* y h). También se evaluaron variables destructivas a los 0, 3, 6, 9 ó 12 d en los frutos almacenados a temperatura ambiente (Referencia) y en los frutos almacenados a 12 °C se evaluaron cada 7 d, las variables fueron firmeza, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), índice de sabor (SST/AT), azúcares totales, vitamina C, compuestos fenólicos, flavonoides y actividad antioxidante por tres métodos: ABTS, DPPH y FRAP. La unidad fue un fruto con cinco repeticiones en cada variable determinada. El diseño experimental fue un completamente al azar, donde se compararon los tratamientos almacenados a (12 °C).

Variables no destructivas

La velocidad de respiración y producción de etileno se determinó por el método estático (Salveit, 2016), donde un fruto se colocó en un recipiente de 5 L de capacidad durante 3 h; posteriormente se extrajo del espacio de cabeza 1 mL del gas, el cual se inyectó en un cromatógrafo de gases Agilent Technologies® 7890A (USA) y se cuantificó la concentración de dichos gases. Las condiciones de temperatura del inyector, horno y detectores DCT (Detector de Conductividad Térmica) y DIF (Detector de Ionización de Flama) para la determinación de CO₂ y etileno, respectivamente, fueron de 150, 80 y 170 °C. Se utilizó nitrógeno como gas de arrastre. Para la cuantificación de la concentración de gases en las muestras, se usó el método de calibración absoluta utilizando estándares (Praxair ®) de CO₂ (460 mg L⁻¹) y etileno (100 mg L⁻¹).

La pérdida de peso se determinó usando una balanza digital (OHAUS®, ProScout SP, 2001, New Jersey, USA) para medir la masa individual cada fruto de chirimoya. La pérdida de peso

acumulada al final del almacenamiento fue reportada en porcentaje (%). Se utilizó la siguiente fórmula: $[(P_i - P_f / P_i) * 100]$, donde P_i = peso inicial, P_f = peso final.

El color de la epidermis se evaluó, en lados opuestos del fruto en la parte ecuatorial con un espectrofotómetro (X-rite, Mod. SP64, USA) que proporcionó lecturas de L^* = luminosidad (0: blanco, 100: negro); C^* = cromaticidad (del gris); h = ángulo matiz (0: rojo, 100: amarillo) (Neguerula, 2012).

Variables destructivas

La firmeza se determinó en cada fruto, se eliminó parte del epicarpio, en la parte ecuatorial de dos lados opuestos, por medio de una estación de pruebas EZ Test modelo: SM-100N-168, con capacidad de 100 N, con un puntal cónico (4.7 mm de diámetro en la base). Se tomó como unidad experimental un fruto con seis repeticiones, tomando como repetición el valor promedio de dos lecturas de cada fruto, reportando los datos en Newton (N).

Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron directamente del fruto, al realizar una incisión en la epidermis del fruto para obtener una gota de jugo de la pulpa, que se colocó en refractómetro Atago PAL-1 (Japón) previamente calibrado con una gota de agua destilada. Los resultados se expresaron en °Bx. La acidez titulable fue determinada por el método de AOAC (1990), el cual consistió en homogenizar 1 g de pulpa con 10 mL de agua destilada, el macerado fue filtrado con papel filtro, y 5 mL de la alícuota del filtrado fueron tomados. Posteriormente se realizó el volumen de titulación con hidróxido de sodio (0.1 NaOH) usando fenolftaleína como indicador; los resultados fueron expresados como porcentaje de ácido cítrico.

Los azúcares totales, se determinarán mediante el método de antrona descrito por Alia *et al.* (2002) usando como referencia una curva de calibración de glucosa. Para esto se tomará 1 g de

pulpa que se colocará en un matraz Erlenmeyer, posteriormente se agregarán 50 mL de alcohol al 80 % y se mantendrán en ebullición por 5 min. La solución alcohólica se dejará enfriar y se guardarán en refrigeración (5 °C) por 15 días hasta su evaluación. La determinación de los azúcares totales se determinará a partir de 1 mL de la solución alcohólica y se evaporará en baño maría. Al residuo se le agregaran 100 mL de agua destilada y se agitará, se tomará 1 mL de la solución y se transferirá a un tubo Falcon adicionándose 2 mL de agua destilada, posteriormente se agregarán 6 mL del reactivo de antrona (0.4 g de antrona + 100 mL de ácido sulfúrico), la aplicación del reactivo de antrona se realizará en baño de hielo. Después, la mezcla de reacción se colocará en ebullición durante cinco minutos, para posteriormente enfriarse en baño de hielo y tomar la lectura en un espectrofotómetro (Genesys® 6, USA) a 600 nm.

La concentración de fenoles totales se realizó conforme a la metodología de Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999). Se homogenizó un gramo de pulpa con 10 mL de agua destilada con ayuda de un Ultra Turrax (IKA®, USA) y, posteriormente, se centrifugó a 9,500 g durante 15 min a 4 °C. Se tomó 0.5 mL del filtrado y se mezcló con 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10), después de 5 min, se adicionaron 2 mL de carbonato de sodio a 7.5 % (p/v) y la mezcla se dejó reposar durante 2 h; posteriormente se realizarán las lecturas en un espectrofotómetro (HACH DR 5000®, USA) a 760 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) en 100g⁻¹ de peso fresco.

El total de flavonoides se determinaron usando la metodología de Arvouet-Grand et al. (1994). Se pesó 1 g de pulpa y se mezcló con 10 mL de metanol; la mezcla se homogenizó con un Ultra Turrax (IKA®, USA) y posteriormente se filtró. A partir del filtrado, se tomaron 2 mL de muestra y se mezclaron con 2 mL de tricloruro de aluminio a 2 % p/v; dejando reposar por 15 min en la oscuridad, se realizaron lecturas de absorbancia a 415 nm en un espectrofotómetro

(HACH DR 5000®, USA). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de quercetina (EQ) en 100g^{-1} peso fresco.

Para el contenido de vitamina C, se siguió la metodología propuesta por Jagota y Dani (1982). La cual es una técnica colorimétrica para estimación de vitamina C usando el reactivo Folin-Ciocalteu. Se pesó 1 g de muestra y se homogenizó con 4 mL de ácido tricloracético (TCA) al 10 % p/v. se colocaron en un baño de hielo durante 5 min, posteriormente se centrifugó a 9500 g durante 20 min a 4 °C. Para realizar la reacción se utilizaron alícuotas de 0.5 mL del sobrenadante, con 1.5 mL de agua bidestilada y 200 μL del reactivo Folin, se dejó reaccionar en la oscuridad durante 15 min y se leyó la absorbancia a 760 nm.

Para estimar el contenido de vitamina C se construyó una curva estándar con ácido ascórbico. La concentración total se expresó en mg por g^{-1} de peso fresco.

Para determinar la actividad antioxidante de las muestras se obtuvieron extractos a partir de 1 g pulpa, para esto se homogenizó con agua destilada (1:10), el homogenizado se centrifugó y el sobrenadante se utilizó para las reacciones químicas. En el método DPPH (1,1 difenil-2-picrilhidrazil), se utilizó la metodología propuesta por Brand-Williams et al. (1995), la actividad antioxidante por el método de ABTS (ácido 1-2'-azinobis(3-etilbenzotiazolín-6-sulfónico) fue cuantificado mediante el método de Re et al. (1999) y finalmente la actividad antioxidante por reducción férrica (FRAP) fue mediante la metodología desarrollada por Benzie y Strain (1996). En todas las determinaciones se realizaron reacciones colorimétricas y los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100g^{-1} peso fresco.

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza, comparación de medidas por el método de Tukey (0.05) y correlaciones por el método de Pearson con ayuda del software SigmaPlot V.14 (Systat, San José California).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La velocidad de respiración fue significativamente mayor en los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹ de 1-MCP (Figura 1 B), superando en 10 % a los frutos donde no se aplicó 1-MCP o 1-MCP + Quitosano (Figura 1 A), entre 42 y 53 % más a los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP, 500 ó 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP + Quitosano (Figura 1 C-E). No se observó claramente los máximos de producción de CO₂, pero si se observan algunos máximos a los 9 y 16 d en los frutos testigo, a los 15 y 16 d en los frutos donde se aplicó 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP y a 22 -25 d en los frutos donde se aplicó el 1 MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ + Quitosano (Figura 1 A). Los resultados indican que la aplicación de 1-MCP + Q redujeron significativamente la respiración, a excepción de los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹ de 1-MCP.

Yonomoto et al. (2002) indica que la disminución de la temperatura (15 °C) retrasa los días necesarios para alcanzar el máximo de respiración. El principal efecto de la disminución de la temperatura en poscosecha es la reducción del metabolismo y consecuentemente un retraso en la evolución de los parámetros relacionados con la maduración y calidad (Valero y Serrano, 2010). Uno de los principales parámetros para determinar la actividad metabólica del fruto es la velocidad de respiración, la cual está asociada con el deterioro del producto (Valero y Serrano, 2010). Zhang et al. (2020) indican que el 1-MCP retrasa la velocidad de respiración en la mayoría de los frutos de hueso (excepto durazno), pomáceos o frutales tropicales (excepto mango). Gamrasi et al. (2020) indican que la aplicación de 1-MCP reduce la expresión del gen isocitrato deshidrogenasa en jitomate. Una inhibición de la respiración puede reducir el consumo

de piruvato, el metabolito inicial de ciclo de los ácidos tricarboxílicos, y por lo tanto sus productos alternativos, tales como alanina, se pueden incrementar. La alanina es capaz de regular los niveles de piruvato y afectar la velocidad de respiración, es decir disminuir la respiración. En frutos como jujube de la India la aplicación de 1-MCP en dosis de 600 nL L^{-1} + una cubierta de quitosano al 1.5 % retraso la respiración en 3 d comparado con el testigo (Qiuping y Wenshui, 2007). Los anterior indica que la aplicación de 1-MCP en combinación con Quitosano y almacenar los frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ a $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ favorecen una mayor vida poscosecha.

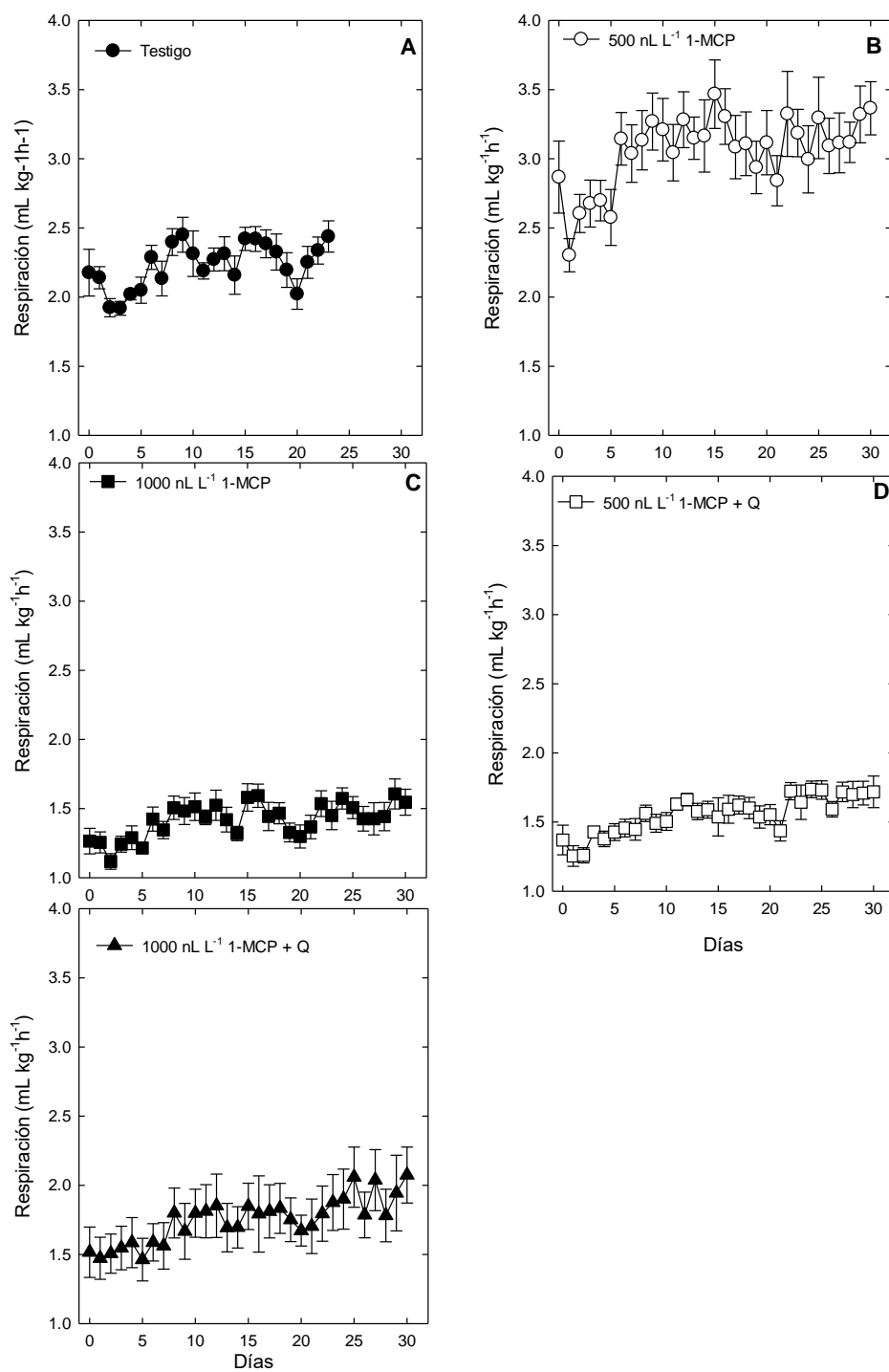


Figura 1. Velocidad de respiración en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1% (Q). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar.

La producción de etileno en los frutos almacenados a 12 °C se detectó hasta los 11 d en esa condición y el máximo de producción se detectó a los 21 d (Figura 2 A), en los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ el etileno se detectó a los entre los 2 y 9 d alcanzado el máximo a los 23 y 29 d, respectivamente (Figura 2 B y C). Los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 nL L⁻¹ + Quitosano el etileno se detectó hasta los 13 d y el máximo de producción fue a los 27 días (Figura 2 D). Finalmente, en los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ + Quitosano, el etileno se detectó a los 3 d y el máximo de producción fue a los 13 d (Figura 2 E). Considerando lo anterior, la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹, retrasó entre 2 y 7 d la aparición del máximo de etileno, en tanto que la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ + Quitosano retrasó el máximo de producción de etileno entre 5 y 6 d, comparado con los frutos almacenados donde no se aplicó el 1-MCP + quitosano (Figura 2). No se detectaron diferencias en los valores de producción de etileno entre los diferentes tratamientos evaluados.

El 1-MCP es un retardador de la maduración que se une irreversiblemente a receptores de etileno en las membranas celulares y es por lo tanto capaz de disminuir los efectos del etileno y/o interferir con su función en las plantas, bloqueando la transducción de señales en cascada que conduce a la expresión de genes relacionados con la respuesta al etileno (Balaguera-López et al., 2021). Li et al (2009) al aplicar 1-MCP en dosis de 500 nL L⁻¹ a frutos de chirimoya durante 12 h y posteriormente madurarlos a 20 °C, retrasó el máximo climatérico y disminuyó la intensidad del máximo en 40 %. En el presente estudio, la aplicación de 1-MCP retrasó el máximo climatérico, pero no fue evidente la disminución del máximo.

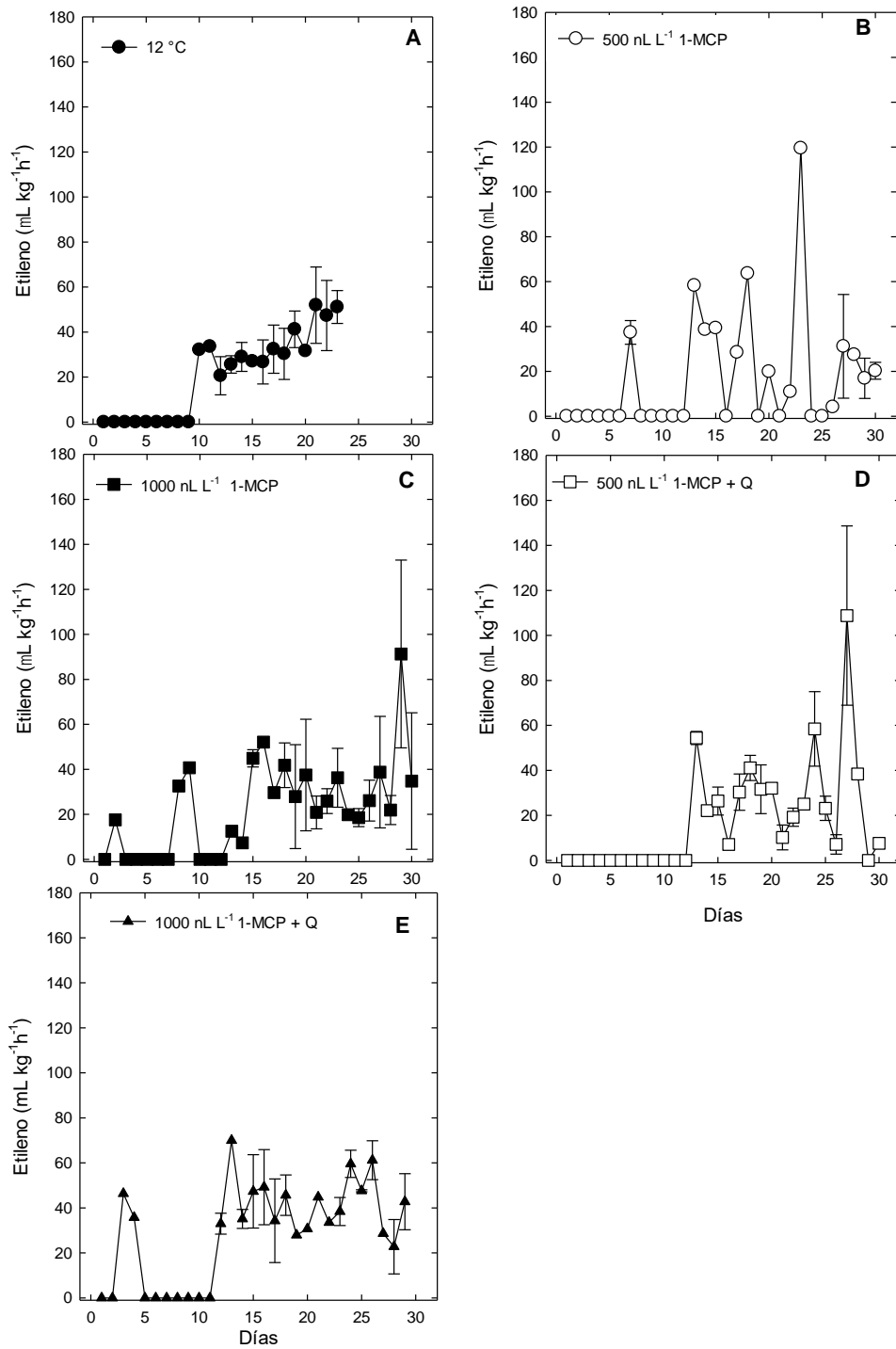


Figura 2. Producción de etileno en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1% (Q). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar.

Se detectaron diferencias significativas en la luminosidad de los frutos de chirimoya almacenados a 12 °C los cuales mostraron los valores mayores durante los primeros 14 d después de cosecha ($L^* = 40$ y 42), después la luminosidad disminuyó constantemente hasta valores de $L^* = 29$ a los 24 d (Figura 3 A). Los frutos de chirimoya de los tratamientos donde se aplicó 1-MCP o 1-MCP + Quitosano la luminosidad se mantuvo entre $L^* = 35$ y 39 los primeros 22 d, posteriormente los frutos donde se aplicó 1000 nL L^{-1} disminuyó significativamente a valores menores de $L^* = 35$, en el resto de los tratamientos los frutos mantuvieron valores significativamente mayores de $L^* = 35$ (Figura 3 A).

La cromaticidad mostró un comportamiento similar a la luminosidad, ya que los primeros 12 d en los frutos almacenados a 12 °C sin aplicación de 1-MCP y Quitosano mostraron mayor pureza de color ($C^* = 23.1-24.9$) (Figura 3B), sin embargo, posteriormente el color se modificó hacia mayor opacidad alcanzando valores de $C^* = 13$ el día 21 (Figura 3 B). Por otra parte, en los frutos donde se aplicó 1-MCP o 1-MCP + Quitosano el color de la epidermis fue más opaco ($C^* = 18-22$), manteniéndose en esos valores hasta por 18 d, en comparación en los frutos donde se aplicó 1000 nL L^{-1} de 1-MCP disminuyó, el resto de los tratamientos la cromaticidad disminuyó hasta los 25 ó 26 d (Figura 3 B).

El matiz disminuyó en todos los frutos de un color tendiente al verde entre $h = 105.5$ y 108 hasta cercanos al amarillo $h =$ entre 76.5 y 85 en los frutos tratados sin aplicación de 1-MCP y los tratados con 1000 nL L^{-1} , con la diferencia en que estos valores se alcanzaron los 24 y 30 d, respectivamente (Figura 3C). El resto de los frutos alcanzaron valores cercanos al color pasto $h = 93$ y 99 después de 27 d (Figura 3 C).

Los resultados indicaron que la temperatura de 12 °C disminuyó la velocidad de cambio de color en la epidermis del fruto de chirimoya de un fruto verde luminoso y vivido a un color cercano

al amarillo opaco y menos luminoso, y que la aplicación de 1-MCP + Quitosano retrasó significativamente este cambio de color, manteniéndolo por mayor tiempo, entre 10 y 15 d (Figura 3). Uno de los cambios más evidentes durante la maduración de la chirimoya es el cambio de color de verde oscuro a un verde amarillento o verde oscuro u opaco y con mayor avance en la maduración la aparición de oscurecimiento o el color es más opaco (Palma et al., 1993); esto ocurrió en todos los frutos, pero la aplicación de 1-MCP retrasó ese cambio, sin un efecto adicional por la aplicación del Quitosano.

Luo et al. (2009) determinaron que la aplicación de 1-MCP en dosis de 250 a 1000 nL L⁻¹ retrasa la degradación de clorofilas, ya que la actividad de la clorofilasa es afectada significativamente en ciruelas ‘Qingnai’ ocasionando un retraso en el cambio de color comparado con los frutos donde no se aplicó este retardador de la maduración. En chirimoya y otras anonáceas se ha determinado que durante la maduración las clorofilas disminuyen lo cual es del color de la epidermis o mesocarpio correlacionándose con el proceso (Benklebia y Emanuel, 2014; Cordeiro et al., 2013). En el presente trabajo la aplicación de 1-MCP retrasó los cambios de color en la epidermis de chirimoya ‘Cuadrada’ incrementando la vida útil del fruto.

Es importante indicar que la chirimoya ‘Cuadrada’ presenta apéndices o protuberancias leves por lo que se clasifica como impresa de acuerdo con el relieve de los exocarpos de los numerosos carpelos que forman al fruto (Isaias et al., 2018), en esos apéndices o protuberancias se observó un oscurecimiento gradual en los bordes de los frutos durante la maduración, avanzando en la senescencia a un oscurecimiento propio del exocarpo de cada carpelo. Estos cambios mostraron que los frutos testigo mostraron mayor oscurecimiento a los 14 y 21 d (Figura 4), en tanto que los frutos donde se aplicó 1-MCP o 1-MCP + Quitosano el oscurecimiento de las protuberancias y el exocarpo de los carpelos fue hasta los 28-30 d. (Figuras 5-8).

La pérdida de peso en los frutos testigo fue de 15.4 % durante los 23 d de evaluación con una pérdida de peso diaria de 0.66 % (Figura 3D). En los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ la pérdida de peso total fue entre 21.9 a 22 % en 29-30 d con una pérdida de peso diaria entre 0.73 y 0.75 % (Figura 3 D). En los frutos donde se aplicó 1- MCP + Quitosano la pérdida de peso total fue de 21.6 a 22.4 % en 29-30 d, indicando una pérdida de peso diaria de 0.74 % (Figura 3 D). Se observaron menores pérdidas de peso en los frutos testigo y con mayor evidencia entre los 10 y 15 d de la evaluación (Figura 3 D), posteriormente no se detectaron diferencias entre los frutos testigo y entre los frutos donde se aplicó 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano.

Undarraga-Martínez et al. (1998) refieren que la chirimoya ‘Concha Lisa’ mostró una pérdida de peso de 6.3 % en seis días de almacenamiento a 6 °C, y que en trabajos previos para observar la sintomatología de la pérdida de peso en chirimoya se requiere que esta sea mayor a 9 %. En el caso de la variedad ‘Cuadrada’ no se observaron síntomas como marchitamiento o arrugamiento de la epidermis del fruto, que son síntomas característicos de la pérdida de agua en el fruto, por lo que se considera que esta variedad muestra buenas características de apariencia en poscosecha. La aplicación de 1-MCP + Quitosano no mostró un efecto de disminuir la pérdida de peso como se ha reportado en otros frutos.

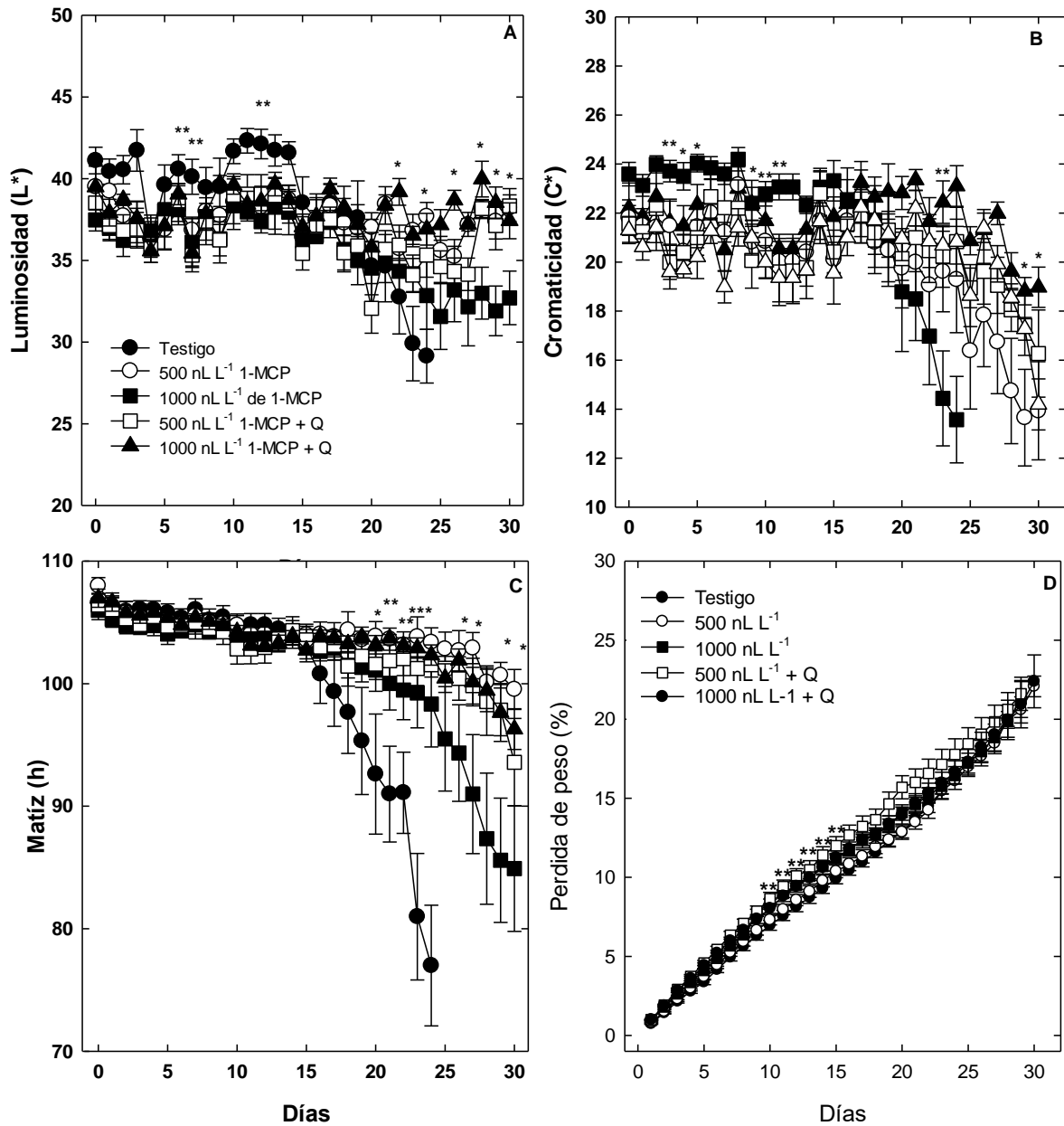


Figura 3. Luminosidad (A), cromaticidad (B), ángulo de matiz (C) y pérdida de peso (D) en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1%. Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. *, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey.



Figura 4. Cambios de apariencia en frutos de chirimoya almacenados a 12 °C por 21 d.

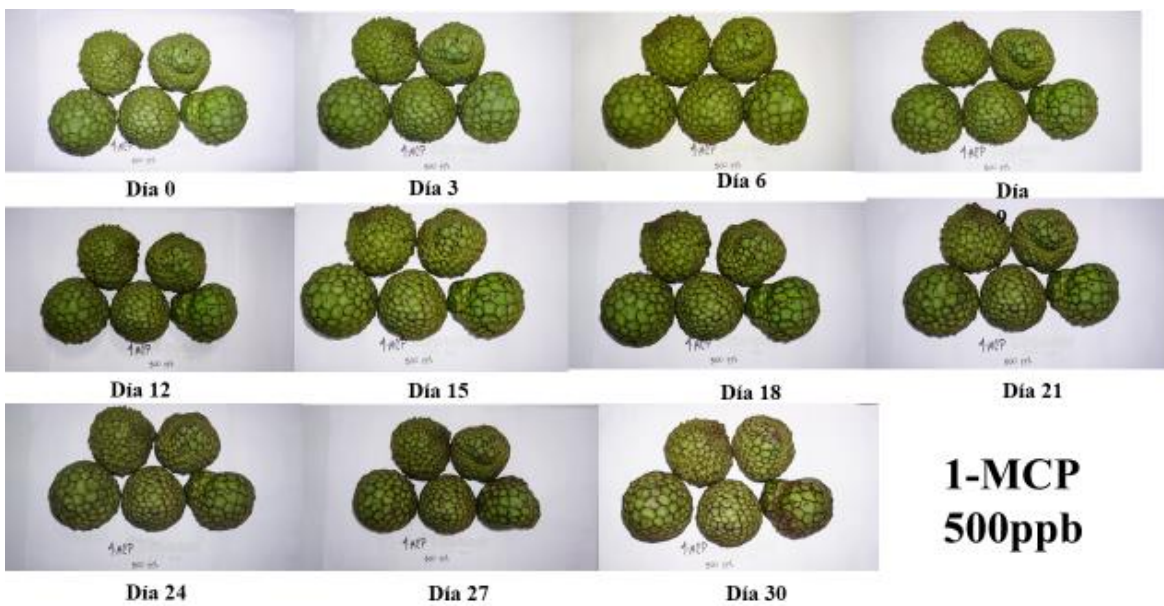


Figura 5. Cambios de apariencia en frutos de chirimoya almacenados a 12 °C por 30 d, previa aplicación de 1-MCP a 500 nL L⁻¹.

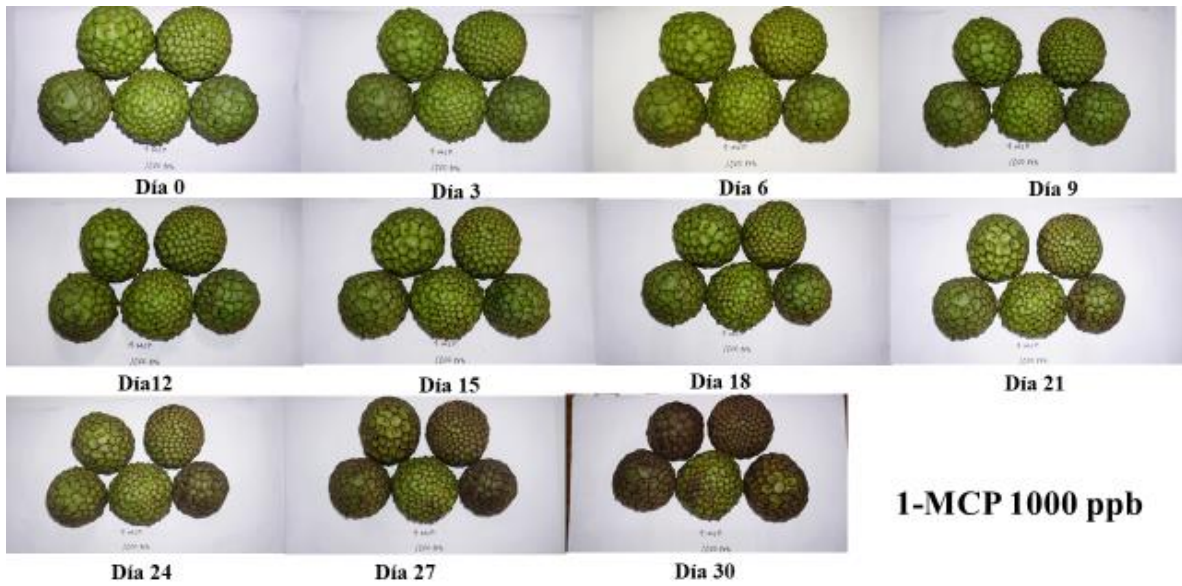


Figura 6. Cambios de apariencia en frutos de chirimoya almacenados a 12 °C por 30 d, previa aplicación de 1-MCP a 1000 nL L⁻¹.

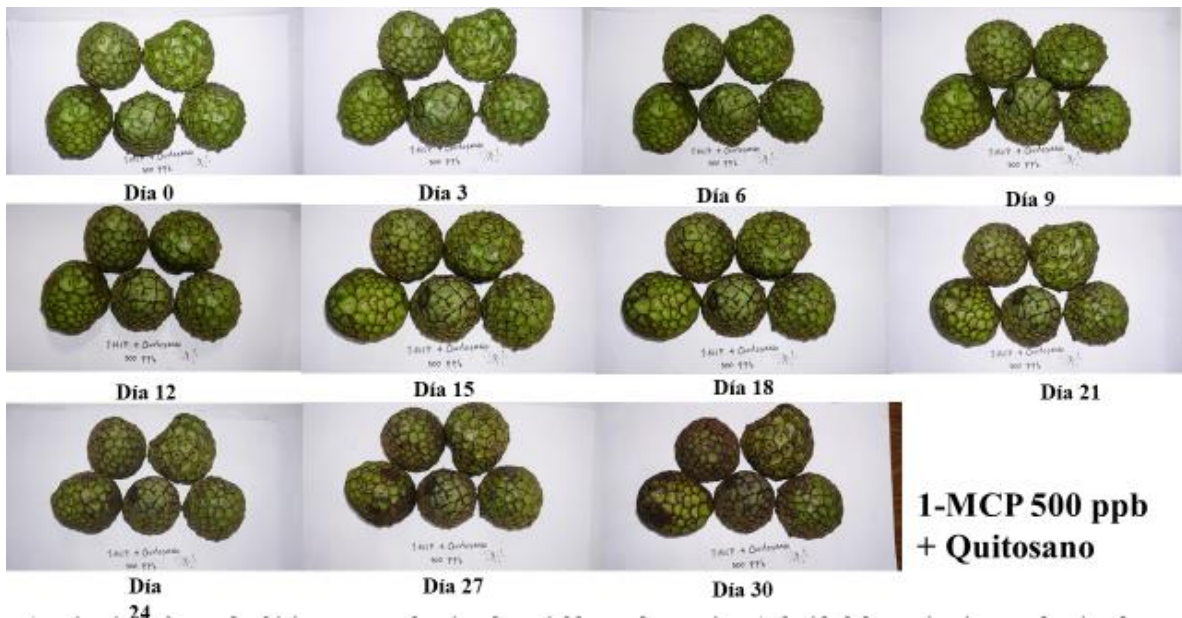


Figura 7. Cambios de apariencia en frutos de chirimoya almacenados a 12 °C por 30 d, previa aplicación de 1-MCP a 500 nL L⁻¹ + Quitosano.

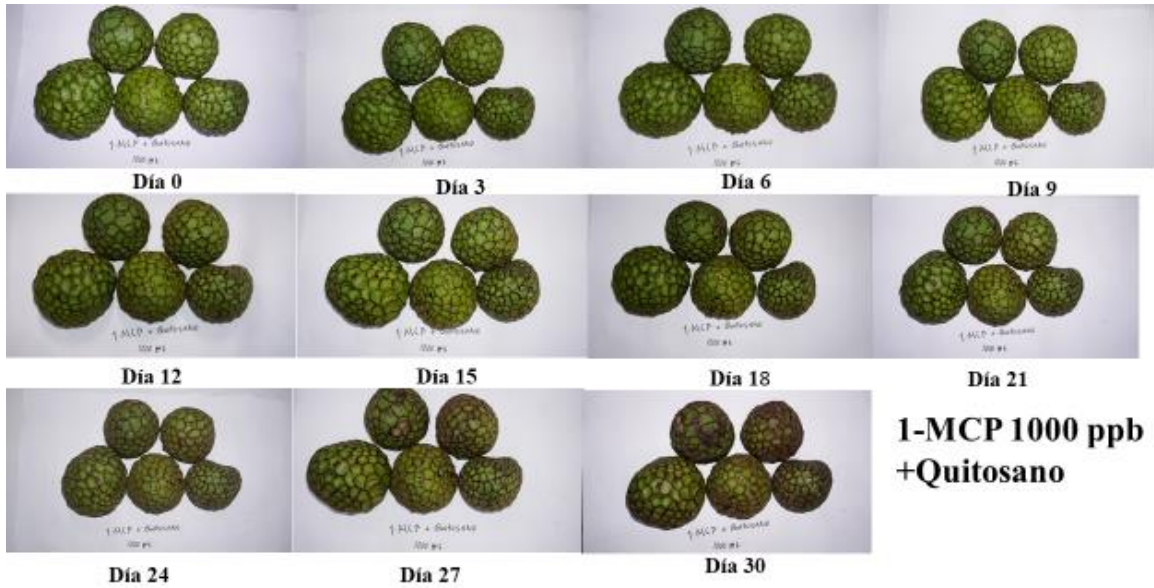


Figura 8. Cambios de apariencia en frutos de chirimoya almacenados a 12 °C por 30 d, previa aplicación de 1-MCP a 1000 nL L⁻¹ + Quitosano.

La firmeza en los frutos testigo disminuyó significativamente de 34.9 a 34.2 en los primeros 7 d, a 24.2 N en el día 14 y 14.8 N en el día 21 (Figura 4 A). Al comparar con los frutos donde se aplicó 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano, la firmeza fue significativamente mayor hasta por 21 d con 35.4 a 40.6 N, y a los 28 d la firmeza disminuyó entre 26.2 y 33.4 N, finalmente a los 31 d la firmeza fue entre 21.4 y 24.3 N (Figura 4 A), es decir la firmeza del fruto de chirimoya se mantuvo en valores arriba de la madurez de consumo. No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos con 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano (Figura 4 A).

Alique et al. (1994) al almacenar frutos de chirimoya ‘Fino de Jete’ en temperaturas de 8 y 10 °C alcanzaron el estado suave entre 9 y 6 d, respectivamente, es decir que al incrementar la temperatura los días para ablandarse son menos; así en la variedad ‘Cuadrada’ a los 21 d, alcanzó un estado suave (Figura 4 A). Por otra parte, los frutos donde se aplicó 1-MCP o 1-MCP +

Quitosano, la firmeza en etapa suave fue hasta los 30 d. Li et al. (2009) indica que la aplicación de 1-MCP retrasa significativamente la pérdida de firmeza en chirimoya debido a que se inhibe o retarda la expresión de algunos genes de enzimas xiloglucano endotransglucosilasas y expansinas, a la cuales se les atribuye al menos parcialmente el ablandamiento del fruto. Los resultados sugieren que la baja temperatura combinada con 1-MCP retrasaron la expresión de las enzimas que modulan el ablandamiento del fruto.

Los sólidos solubles totales se incrementaron significativamente durante la maduración; al iniciar con 5.9 °Bx y aumentar en 7 d a 16.7 °Bx en los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹, en el resto de los tratamientos se mantuvo entre 8.2 y 10.5 °Bx (Figura 4 B). A los 14 d los frutos testigo ya habían alcanzado 19.9 °Bx y el resto de los tratamientos se mantuvo entre 12.4 y 16.1 °Bx (Figura 4 B). A los 21 d los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP + Quitosano mostraron los valores mayores de sólidos solubles totales con 24.2 °Bx, en tanto el resto de los tratamientos se mantuvieron entre 16.8 y 20.7 °Bx (Figura 4 B). Posteriormente, los frutos donde se aplicó 1-MCP o 1-MCP + Quitosano mantuvieron entre 18.1 y 22.3 °Bx (Figura 4 B). Sugiriendo que en estos tratamientos se retrasó significativamente la acumulación de sólidos solubles totales (Figura 4 B).

En refrigeración se ha reportado que las chirimoyas ‘Libby’ y ‘Big Sister’ alcanzan entre 16 y 16.9 °Bx (Yonemoto et al., 2002). Gutiérrez et al. (1994) indican que frutos de chirimoya almacenados a 12 °C alcanzan el máximo de sólidos solubles (aproximadamente 23 °Bx) después de 10 d en esa condición. En chirimoya ‘Cuadrada’ se observó un comportamiento similar (Figura 4 B). El 1-MCP o 1-MCP + Quitosano retraso 7 a 10 d la acumulación de los sólidos solubles totales. En Durazno ‘El Dorado’ la aplicación de 1-MCP retraso el tiempo en alcanzar el máximo contenido de sólidos solubles totales, explicando que el retardador de la

maduración ayudo a disminuir la velocidad de hidrolisis de almidón y polisacáridos de la pared celular (Cordeiro et al., 2013; Mariño-González et al., 2018), similares resultados se sugieren afectaron en ‘Cuadrada’.

La acidez titulable se incrementó en todos los frutos de todos los tratamientos evaluados (Figura 4 C). En los frutos testigo se incrementó de 0.09 % hasta 0.30 % y en los frutos tratados con 1-MCP o 1-MCP + Quitosano alcanzaron hasta 0.37 % (Figura 4 C). Solo se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados a los 7 d, donde en los frutos que se aplicó 500 nL L⁻¹ de 1-MCP + Quitosano mostraron la mayor acidez titulable (0.27 %) y en los frutos testigo los valores menores (0.16 %) (Figura 4 C). Al final de la evaluación la acidez titulable fue similar entre los frutos tratados con 1-MCP y 1-MCP + Quitosano (Figura 4 C).

La acidez titulable de la chirimoya se incrementa debido a la acumulación de ácido cítrico y ácido málico y otros cambios asociados con la acumulación de transcritos codificante para enzimas relacionadas con el catabolismo de citrato, se ha determinado que la enzima malato deshidrogenasa dependiente de NAD y la citrato sintasa mitocondrial tienen un papel regulatorio en las rutas biosintéticas de ácidos málico y cítrico (González-Agüero et al., 2016). Alique et al. (1994) indica que la baja temperatura retrasa la acumulación de ácido málico y que el ácido cítrico puede ser utilizado como un indicador de daño por frío. El efecto de aplicar 1-MCP o 1-MCP + Quitosano fue retrasar la acumulación máxima de ácidos orgánicos hasta los 28 a 30 d. En guanábana, la aplicación de 1-MCP en dosis de 200 a 400 nL L⁻¹ y posterior almacenamiento a 16 °C la acidez titulable se incrementó lentamente, lo que sugiere que la temperatura retrasa el proceso de acumulación de algunos ácidos orgánicos (Espinosa et al., 2014). Similar respuesta se observó en ‘Cuadrada’.

En el índice de sabor los frutos testigo se mantuvieron entre 62 y 80 durante el periodo de evaluación (Figura 4 D). Los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ + Quitosano mostraron los valores mayores con 104.7 (Figura 4 D). Los frutos tratados con 1-MCP con 500 y 1000 nL L⁻¹ mantuvieron niveles bajos de índice de sabor con 35 a 60 hasta por 28 d (Figura 4 D).

La preferencia del consumidor de frutos está directamente relacionado a un balance aceptable de azúcar/acidez, por lo tanto, la proporción de sólidos solubles totales/acidez titulable puede utilizarse para determinar la fecha de cosecha de algunos productos, sin embargo, el índice de cosecha es una expresión de la relación entre el contenido de azúcares y ácidos orgánicos (Erkan y Dogan, 2019). El índice de sabor proporciona una medición más confiable de la palatabilidad del producto que determinar los azúcares o acidez titulable por separado (Erkan y Dogan, 2019). En el caso de chirimoya se determinó que, para alcanzar los valores adecuados de índice de sabor, la aplicación de 1-MCP retrasó los días para alcanzarlo, no se detectó un efecto mayor cuando se combinó con Quitosano.

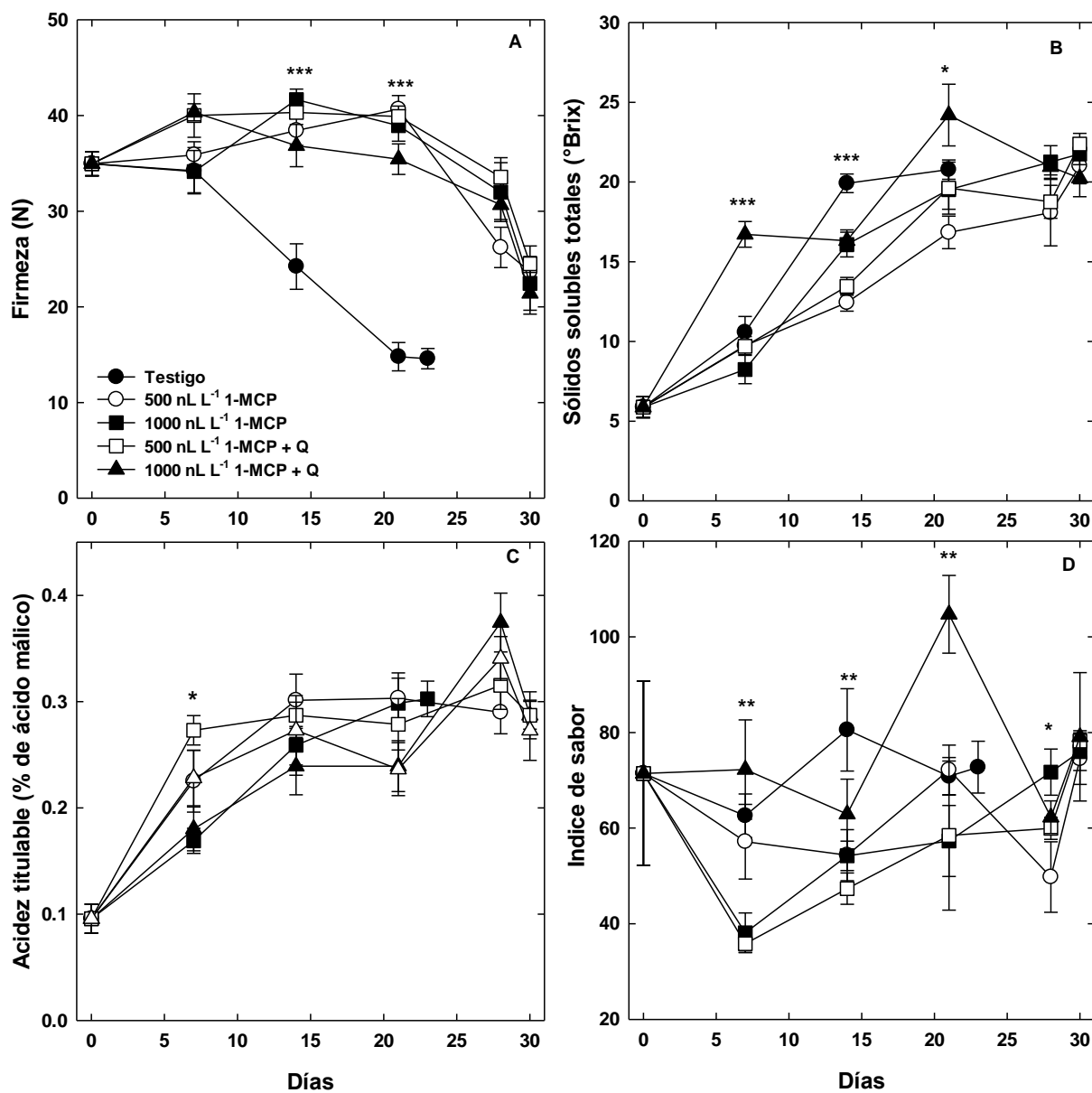


Figura 9. Firmeza (A), sólidos solubles totales (B), acidez titulable (C) e índice de sabor (D) en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1%. Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. *, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey.

Los azúcares totales se incrementaron de 78.2 mg g^{-1} al inicio de las evaluaciones hasta 144.5 después de 14 d en los frutos testigo (Figura 5 A). Similar comportamiento mostró los frutos tratados con 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano, con la diferencia que en algunos tratamientos la acumulación de azúcares se retrasó significativamente (Figura 5 A). Así, los frutos donde se aplicó 1000 nL L^{-1} ó 500 nL L^{-1} de 1-MCP + Quitosano alcanzaron valores entre 140.7 y 163.8 mg g^{-1} a los 21 d, y los frutos donde se aplicó 500 nL L^{-1} de 1-MCP + Quitosano alcanzó 168.9 mg g^{-1} a los 30 d, finalmente los frutos con aplicación de 1-MCP + Quitosano alcanzó 122.6 mg g^{-1} a los 30 d (Figura 5 A). Los resultados sugieren que la aplicación de 1-MCP + Quitosano retrasó significativamente la acumulación de los azúcares, con mayor evidencia en los frutos donde la dosis fue de 1000 nL L^{-1} + Quitosano (Figura 5 A). Durante la maduración de la chirimoya a temperaturas entre 6 y $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ indican que la acumulación de glucosa y fructosa se retrasan pero no afectan sustancialmente las concentraciones al compararlo con frutos almacenados a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; pero la sacarosa acumulación de sacarosa si es afectada durante su almacenamiento a $6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Alique et al., 1994), lo anterior descrito sugiere que el almacenamiento a baja temperatura retrasa la acumulación de sacarosa, y que la aplicación de 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano retrasaron significativamente la acumulación de azucares.

En frutos como manzana, fresa y cítricos la aplicación de 1-MCP activa algunas enzimas que degradan y suprimen la actividad de la sacarosa fosfato sintetasa, la regulación hacia debajo de dos transportadores de sacarosa y reprimen la expresión de genes involucrados en la síntesis y degradación de almidón (Brizzolara et al., 2020). No hay reportes sobre el efecto de la aplicación de 1-MCP sobre el metabolismo de carbohidratos en chirimoya, pero los resultados sugieren que alguno de los efectos anteriormente mencionadas puede estar relacionados con el retraso de la síntesis de azúcares.

La vitamina C se incrementó en todos los frutos de los tratamientos evaluados (Figura 5 B) a los 21 d en los frutos testigo (Figura 5 B). En el resto de los tratamientos el máximo de vitamina C se alcanzó a los 28 ó 30 d, con excepción de los frutos donde se aplicó 1-MCP + Quitosano, donde se alcanzó un máximo a los 7 d con 39.9 mg EAA g⁻¹ y posteriormente disminuyó hasta entre 22.3 y 29.1 mg EAA g⁻¹ (Figura 5 B). Dattola et al. (2019) indican que en chirimoya ‘Fino de Jete’ la vitamina C disminuye en más de 50 % después de 7 d de cosechada en condiciones de temperatura ambiente (20 °C). En chirimoya ‘Cuadrada’ al evaluar el comportamiento en poscosecha a temperatura ambiente, la vitamina C durante los años de evaluación 2019 a 2021 se incrementó del año 2021 y 2020 y en uno disminuyó el año 2019 (Salazar-Díaz et al., 2023). En refrigeración a 12 °C se incrementó en poscosecha y los frutos tratados con 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano retrasaron la acumulación de vitamina C. Es probable que el 1-MCP + Quitosano se potencio ese efecto, ya que fue el que redujo al máximo la biosíntesis de esta molécula en frutos en poscosecha y almacenados a 12 °C.

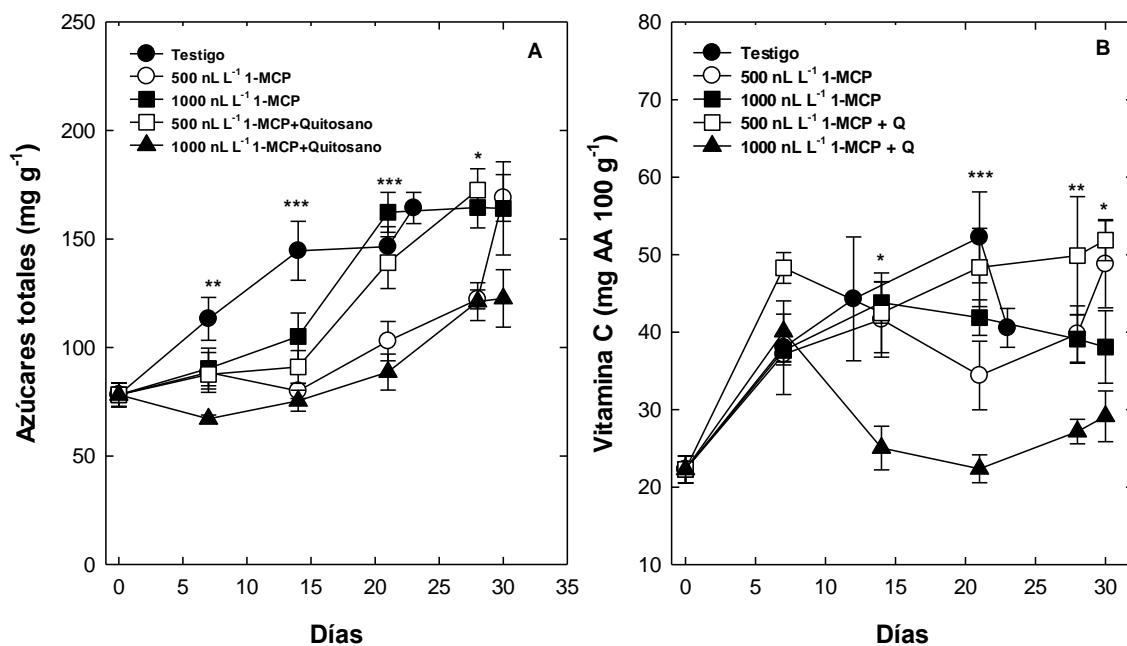


Figura 10. Azúcares totales (A) y vitamina C (B) en frutos de Chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1%. Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. *, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey.

Los compuestos fenólicos en los frutos testigo se incrementaron significativamente de 63 mg EAG 100g⁻¹ al inicio de las evaluaciones a 80 mg EAG 100g⁻¹ después de 7 d, posteriormente disminuyó constantemente hasta 46.0 mg EAG 100g⁻¹ a los 21 d (Figura 6 A). En el resto de los tratamientos los compuestos fenólicos se mantuvieron en valores entre 47.1 y 69.4 mg EAG 100g⁻¹ durante 28 d, a excepción de los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ donde alcanzaron hasta 75 y 76 mg EAG 100g⁻¹ manteniéndose por 21 d y posteriormente disminuir (Figura 6 A). Gentile et al. (2021) reporta que en 7 variedades de chirimoya el promedio de compuestos

fenólicos es de 75.18 mg EAG 100g⁻¹ de peso fresco, lo cual es similar en la variedad ‘Cuadrada’ (Figura 6 A), por lo que se considera que aporta en promedio mayor contenido que algunos frutos tropicales como kiwi, papaya, mango y aguacate, lo cual es importante ya que el consumo de este fruto favorece el aporte de moléculas que tienen efecto antioxidante, antiinflamatorio, antidiabético, antiproliferativo, antihipertensión y antihiperlipidémico. En durazno se ha reportado que los fenoles alcanzan un máximo durante la maduración y posteriormente disminuyen, probablemente por respuesta al efecto del etileno en el metabolismo de los compuestos fenólicos; la aplicación de 1-MCP retrasó ese máximo dos días comparado con los frutos sin aplicación de 1-MCP, por lo que es evidente que retrasa o disminuye la acumulación de estas biomoléculas (Liu et al., 2015).

Los flavonoides totales se incrementaron ligeramente en los frutos testigo de 3 mg EQ 100g⁻¹ al inicio de las evaluaciones a 3.5 mg EQ 100g⁻¹ a los 14 d y se mantuvo en esos niveles hasta 23 d (Figura 6 B). En los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹ de 1-MCP o 500 nL L⁻¹ de 1-MCP + Quitosano los flavonoides se incrementaron de 3.5 mg EQ 100g⁻¹ a entre 4.1 y 4.9 mg 100g⁻¹ a los 7 d y posteriormente disminuyó constantemente hasta 2.9 y 3.2 mg EQ 100g⁻¹ en 28 d (Figura 6 B). Los frutos con aplicación de 1-MCP en 1000 nL L⁻¹ se incrementó hasta 3.7 mg EQ 100g⁻¹ a los 21 d y en los frutos con 1000 nL L⁻¹ + Quitosano se incrementó hasta 4.3 mg EQ 100g⁻¹ manteniéndose en esos valores por 30 d (Figura 6 B). No se detectaron diferencias entre tratamientos, pero se observa efecto en los días para alcanzar los valores máximos, así la aplicación de 1-MCP ó 1-MCP + Quitosano estimulo la producción de flavonoides y el máximo se alcanzó antes que los frutos testigo (Figura 6 B). En manzana almacenada en baja temperatura se ha observado que los flavonoides totales disminuyen, pero cuando se aplica 1-MCP se observa que se mantienen o la velocidad de disminución es retrasada y se atribuye a una

dispuesta diferencial en la degradación de los flavonoides individuales, por ejemplo la degradación de hidroperóxido es inhibido, en tanto que el ácido clorogénico, floridizin y quercetina no se observa efecto del 1-MCP, lo que sugiere que el 1-MCP puede inducir la inhibición de la enzima Fenilalanil amonioliase (PAL) la cual es inducida por el etileno (Ma et al., 2019).

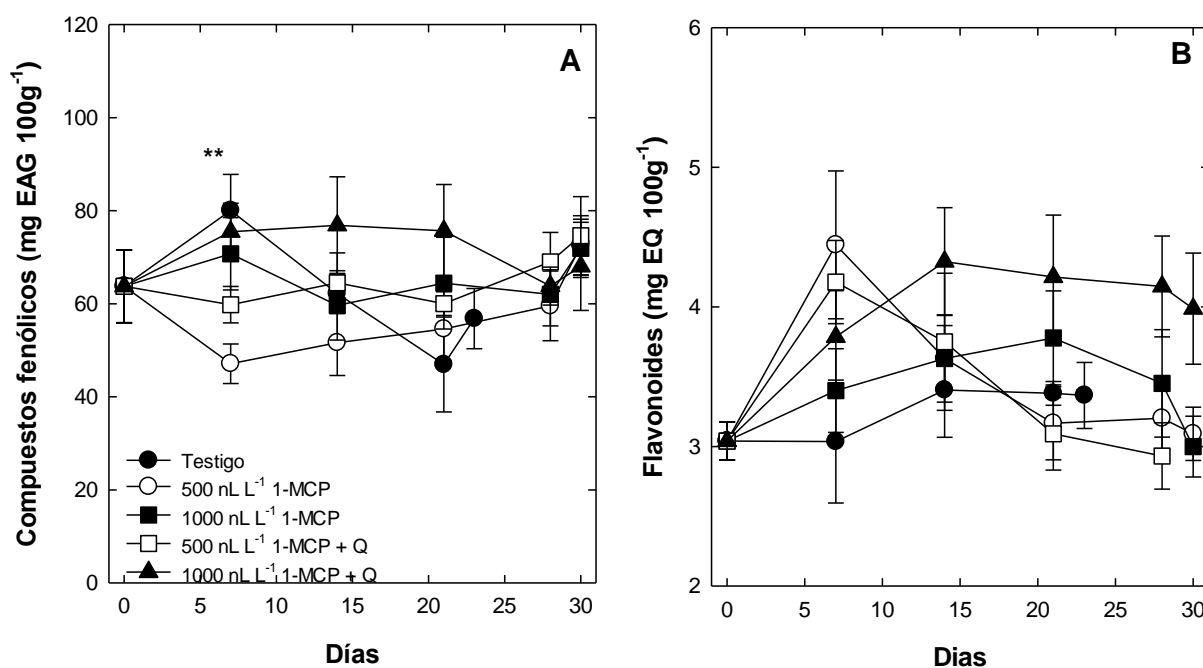


Figura 11. Compuestos fenólicos (A) y flavonoides totales (B) en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1%. Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. *, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey.

La actividad antioxidante evaluada por el método de ABTS fue significativamente mayor en los frutos donde se aplicó 1-MCP en 500 ó 1000 nL L⁻¹, mientras que en los frutos testigo y donde se aplicó 1-MCP + Quitosano se cuantificaron los valores menores (Figura 7 A).

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la actividad evaluada por DPPH (Figura 7 B). En general se detectó una disminución en la actividad de valores de 134.6 mg EAA 100g⁻¹ hasta 104.9 mg EAA 100 g⁻¹ a los 30 d (Figura 7 B).

Finalmente, la actividad evaluada por el método de FRAP determino valores significativamente menores en los frutos testigo, entre 28.2 y 45.8 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 7 C). En los frutos donde se aplicó 500 ó 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP la actividad aumento significativamente hasta 91.6-97.4 mg EAA 100g⁻¹ después de 28 d y en los tratamientos con 500 ó 1000 nL L⁻¹ + Quitosano la actividad antioxidante por FRAP se mantuvo constante o disminuyó (Figura 7 C).

En la actividad antioxidante sugiere que la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 o 1000 nL L⁻¹ favorece la actividad antioxidante, asociada al comportamiento de los fenoles y flavonoides lo cuales muestran un retraso en su incremento durante la maduración, asociado a los cambios en el contenido de fenoles y flavonoides, como se ha reportado en otras especies como manzana y durazno (Liu et al., 2015; Ma et al., 2019).

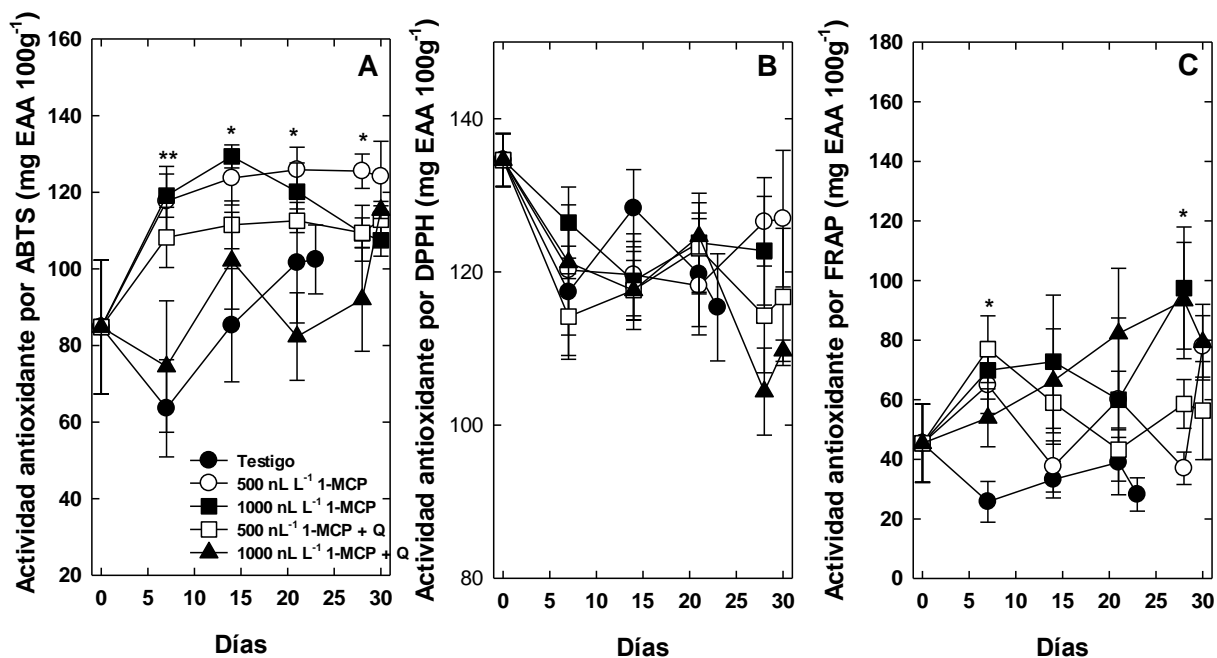


Figura 12. Actividad antioxidante por el método de ABTS (A), DPPH (B) y FRAP (C) en frutos de chirimoya ‘Cuadrada’ almacenada a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP y quitosano 1%. Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. *, ** y ***: significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo con la prueba de Tukey.

CONCLUSIONES

La aplicación de 1-MCP retrasa los procesos de maduración en chirimoya ‘Cuadrada’ esta tecnología puede ser una alternativa para su incremento en la vida útil, la combinación con Quitosano no potencia o incrementa la vida útil.

LITERATURA CITADA

- Al Kazman, BSM, Harnett, JE, Hanrahan, JR. 2022. Traditional uses, phytochemistry and pharmacological activities of Annonaceae. *Molecules* 27: 3462. <https://doi.org/10.3390/molecules27113462>
- Alia-Tejacal, I., M. T. Colinas-León, M.T. Martínez-Damián, M. R. Soto-Hernandez. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq.H.E:Moore &Steam) durante postcosecha. *Rev. Chapingo S. Hort.* 8:263-281.
- Alia TI, Avonce VN, Villarreal FJM, Campos RE. 2022. Introducción. In: Poscosecha de anonáceas, Alia, T. I., Villarreal, F. J. M., Campos, R. E. (Coordinadores), pp: 1-21. Universidad Autónoma Chapingo: México.
- Alique R. 1995. Residual effects of short term treatments with high CO₂ on the ripening of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit. *Journal of the Horticultural Science*, 70: 609-615. <https://doi.org/20.2080/14620316.1995.11515333>
- Anaya-Esparza LM, Ramírez-Marez MV, Montalvo-González EM, Sánchez-Burgos JA. 2018. Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) In: *Fruit and Vegetable Phytochemicals: chemistry and human health*. V. II, Yahia, E. M. (Ed.) pp: 993-1002. Blackwell.
- AOAC 1990. *Official Methods of Analysis* (15th edition), Washington, DC: Association of Official Analytical Chemist.
- Arvouet-Grand A., Vennat B., Pourrat A., Legret P., 1994 - Standardization d'un extrait de propolis et identification des principaux constituents, *Journal de Pharmacie de Belgique*, 49, p. 462- 468.

- Balaguera-López, H.E., Espinal-Ruiz, M., Rodríguez-Nieto, J.M., Herrera-Arévalo, A., Zacarías, L. 2021. 1-Methylcyclopropene inhibits ethylene perception and biosynthesis : A theoretical and experimental study on cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits. *Postharvest Biology and Technology*, 174: 111467. <https://doi.org/10.1016/j.postharbio.2021.111467>
- Benzie, I.F., Strain, J.J., 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “Antioxidant Power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Benkeblia, N., Emanuel, M.A. 2014. Variation of reducing and total sugars, total phenols and chlorophylls in soursop (*Annona muricata*) during three “on tree” ripening stages. *Acta Horticulturae* 1047: 153-158.
- Brand-Williams, W., Culivier, M.E., Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie. Food Science Technology*, 28, (1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Brizzolara, S., Manganaris, G.A., Fotopoulos, V., Watkins, C.B., Tonutti P. 2020. Primary metabolism in fresh fruits during storage. *Frontiers in Plant Science* 11:80 <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00080>
- Campos-Vargas, R., Olmedo, P. 2020. Subtropical fruits: Cherimoyas. In: *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce*, Gil, M.I., Beaudry, R. (eds.), pp: 399-409. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804599-2.00027-2>

- Cordeiro N, Sousa L, Freitas N, Gouveis M. 2013. Changes in the mesocarp of *Annona cherimola* Mill. 'Madeira' during postharvest ripening. *Postharvest Biology and Technology* 85: 179-184. <https://doi.org/10.1016/j.posthvbio.2013.05.014>
- Da Silva LMR, de Figueiredo EAT, Ricardo NMPS, Vieira IGP, de Figueiredo RW, Brasil IM, Gomes CL. 2014. Quantification of bioactive compounds in pulps and by products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry* 15 (143): 398-404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>.
- Dattola, A., Sortino, G., Vonella, V., Zappia, R., Gullo, G. 2019. Effect of fruit-set time on the quality performance of *Annona cherimola* Mill. fruit in south italy. *Scientia Horticulturae* 246: 272-278. <https://doi.org/10.1016/j.scientia.2018.10.021>
- Espinosa, I., Ortiz, R.I., Tovar, B., Mata, M., Montalvo, E. 2014. Physiological and physicochemical behavior of soursop fruits refrigerated with 1-methylcyclopropene. *Journal of Food Quality* 36: 10-20. <https://doi.org/10.1111/jfq.12011>
- Erkan, M., Dogan, A. 2019. Harvesting of horticultural commodities. In: *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, Yahia, E.M. (Ed.). pp: 129-159. Elsevier. . <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00005-5>
- Gamrasi, D., Fledmesser, E., Ben-Arie, R., Raz, A., Asiag, A.T., Glikman, M., Aharoni, A., Goldway, M. 2020. Gene expression in 1-Methylcyclopropane (1-MCP) treated tomatoes during pre-climateric ripening suggests shared regulation of methionine biosynthesis, ethylene production and respiration. 10, 1669 <https://doi.org/10.3390/agronomy10111669>
- Gutiérrez, M., Lahoz, J.M., Sola, M., Pascual, L., Vargas, A.M. 1994. Postharvest changes in total soluble solids and tissue pH of cherimoya fruit stored at chilling and non-chilling

- temperatures. *Journal of Horticultural Science*, 69(3): 459-463.
<https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516475>
- Gentile, C., Mannino, G., Palazzolo, E., Gianguzzi, G., Perrone, A., Serio, G., Farina, V. 2021. Pomological, sensorial, nutritional and nutraceutical profile of seven cultivars of cherimoya (*Annona cherimola* Mill). *Foods* 10: 35.
<https://doi.org/10.3390/foods10010035>
- Isaias, A.S., Maccio, A., Fanersani, E., Molina, V., Maldonado, C., Mozzi, F., Nieuwenhove, C.V. 2018. Chirimoya. En: *Alimentos Autóctonos Iberoamericanos Subutilizados*, Sáyago, A.S., Álvarez, E.P. (Eds.). Fabro Editores.
- Jagota S., H. Dani, 1982. A new colorimetric technique for estimation of vitamin C using Folin Phenol Reagent. *Anal Biochem.*127: 178-182. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(82\)90162-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(82)90162-2).
- Larranaga N, Fontecha G, Albertazzi FG, Palmieri M, Hormaza JI. 2022. Amplification of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) with chloroplast-specific markers: geographical implications on diversity and dispersión studies. *Horticulturae* 8, 807. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090807>
- Leal F, Paull RE. 2022. The genus *Annona*: botanical characteristics, horticultural requirements and uses. *Crop Science* 2023:1-20. <https://doi.org/10.1002/csc2.20833>
- Li, C., Shen, W., Lu, W., Jiang, W., Jiang, Y., Xie, J., Chen, J. 2009. 1-MCP delayed softening and affect expresión of XET and EXP genes in harvested cherimoya fruit. *Postharvest Biology and Tehcnology* 52: 254-259.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvebio.2008.12.2009>

- Liu, H., Cao, J., Jiang, W. 2015. Changes in phenolics and antioxidant property of peach fruit during ripening and responses to 1-Methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* 108: 11-118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.012>
- Luo, Z., Xie, J., Xu, T. Zhang, L. 2009. Delay ripening of ‘Qingnai’ plum (*Prunus saliciana* Lndl.) with 1-methylcyclopropene. *Plant Science* 177: 705-709. <https://doi.org/10.1016/j.plantxci.2009.08.013>
- Ma, Y., Ban, Q., Shi, J., Dong, T., Jiang, C., Wang, Q. 2019. 1-Methylcyclopropene (1-MCP), storage time, and shelf life and temperatura affect phenolic compounds and antioxidant activity of ‘Jonagol’ apple. 150: 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.12.015>
- Mariño-González, L.A., Buitrago, C.M., Balaguera-López, H.E., Martínez-Quintero, E. 2018. Efecto del 1-metilciclopropeno y el etileno en la fisiología de frutos de durazno (*Prunus pérsica* L.) cv. Dorado durante el almacenamiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 13(1): 46-54. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i1.8543>
- Neguerula, I.A. 2012. Is the Color Measured in Food the color that we see? *In: Color in Food. Technological and Psychophysical aspects.* Caivano, J.L., M. del. P Buera. (eds.) CRC Press-Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida, USA. pp: 81-91. <https://doi.org/10.1201/b11878>
- Palma, T., Aguilera, J.M., Stanley, D.W. 1993. A review of posharvest events in cherimoya. *Postharvest Biology and Technology* 2: 187-208. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(93\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0925-5214(93)90047-7)

- Pareek, S., Yahia, E.M., Pareek, O.P., Kaushik, R.A. 2011. Postharvest physiology and technology of Annona fruits. *Food Research International*. 22: 1741-1751. <https://doi.org/doi:10.1016/j.foodres.2011.02.016>
- Qiuping, Z., Wenshui, X. 2007. Effect of 1-methylcyclopropene and/or chitosan coating treatments on storage life and quality maintenance of Indian jujube fruit. *LWT-Food Science and Technology* 40(3): 404-411. <https://doi.org/doi:10.1016/j.lwt.2006.01.003>
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology Medicine* 26 (9-10): 1231–1237. [https://doi.org/33 10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/33 10.1016/S0891-5849(98)00315-3).
- Rodríguez-Núñez, J.R., Campos-Rojas E., Andrés -Agustín, J.A., Alia-Tejacal, I., Ortega-Acosta, S.Á., Peña-Caballero, V., Madera-Santana, T.J., Núñez-Colín, C.A. 2021. Distribution, ecoclimatic characterisation, and potential growing regions of *Annona cherimola* Mill. (Annonaceae) in Mexico. *Ethnobiology and Conservation*, 10:05 <https://doi.org/10.15451/ec2020-10-10.05-1-17>.
- Salazar-Díaz, J.S., Alia, T.I., Villarreal-Fuentes, J.M., López-Martínez, V., Juárez-López, P., Pérez-Arias, G.A., Campos-Rojas, E. 2023. Maduración de la chirimoya (*Annona muricata* Mill.) ‘Cuadrada’ cultivada en Huecahuasco, Morelos. *Acta Agrícola y Pecuaria*. En prensa.
- Salveit, R. M. 2016. Respiratory metabolism. In: *Postharvest Ripening Physiology of Crops*. Pareek, S. (ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp: 139-156. . <https://doi.org/10.1201/b19043>

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Cierre de la Producción Agrícola por cultivo. Consultado el 2 enero 2023. En línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Singleton VL, R Orthofer, Lamuela-Raventos RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymology* 299: 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sotelo, A.G.A., Alia, T.I., Rodríguez, N.J.R., Campos, R.E., Juárez, L.P., Pérez, A.G.A. 2022. Postharvest effects of a chitosan-cinnamon essential oil coating on soursop fruits (*Annona muricata* L.). *Acta Horticulturae* 1340: 35-40. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1340.5>
- Talavera A, Fernández-Pozo N, Matas AJ, Hormaza JI, Bombarely A. 2023. Genomics in neglected and underutilized fruit crops: A chromosome-scale genome sequence of cherimoya (*Annona cherimola*). *Plants People Planet* 2023: 1-16. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10366>.
- Undurraga-Martínez, P., Olaeta-Coscorroza, J.A., Mac-Lean-Bernales, H. 1998. Identificación y caracterización de desórdenes fisiológicos en chirimoyas (*Annona cherimola* Mill.) cv. Concha Lisa en refrigeración. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(1): 5-12.
- Valero, D., Serrano, M. 2010. *Postharvet Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*. CRC Press. 269 p.
- Yahia, E.M. 2019. General recommedations. In: *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, Yahia, E.M. (ed.), pp: 709-719. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00022-5>

Yonemoto, Y., Higuchi, H., Kitano, Y. 2002. Effects of storage temperature and wax coating on ethylene production, respiration and shelf-life in cherimoya. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 71(5): 643-650.

Zhang, J., Ma, Y., Dong, C., Terry, L.A., Watkins, C.B., Yu, Z., Cheng, A.-M. 2020. Meta-analysis of the effects of 1-methylcyclopropane (1-MCP) treatment on climacteric fruit ripening. *Horticulture Research* 7:208 <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00405-x>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de los Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 29 de febrero de 2024

Asunto: voto aprobación de tesis.

MTRO. JESUS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **REFRIGERACIÓN Y APLICACIÓN DE QUITOSANO EN FRUTOS DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill.)**, que presenta la **M. en C. JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo mi dirección y la codirección del **DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctora en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**. Lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

Firma electrónica
DR. IRAN ALIA TEJACAL
Comité Evaluador

c.i.p. Archivo



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, edificio 10-A,
Tel. (777) 329 701 1, 329 70, 00, Ext. 3582 / www.uaem.mx fagropecuarias@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

IRAN ALIA TEJACAL | Fecha:2024-03-05 10:08:51 | Firmante

yDM0cfkV8eNms903c1TEAK9Nrppe92KNeSbEOF2+rbPKEJUzNqa/6KYJckbFTYcFu4nYOOewjnDQZWIAKiORxjozHkCjte9Apx8hr7svE1BbcAfwD0jb2iLQoHKNWNM+gXveua0wP/Lnqf+5Q4f3jNTYbD86ARVlpdebagp3AoxUQJd3vrstZmwY5FgNrnHfSTTwOrwgn9YKB9FQd2abFFOB1kVmEkpOfK3rfftOZM7G2NhQY7B6sioe9qDK22CK8J1xPL0WRJt5Q9+Xxx/sL+zcdclZ8y0RGCLIDvMtGWmF6T37mlwumJOCr1B7kDJ96kn9uxdPbVgG6IDfwViqvg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



8JN01MRJL

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/AV1Q8kYI6xVqbuc04knCFfBfeqo4YQ6M>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de los Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 29 de febrero de 2024

Asunto: voto aprobación de tesis.

MTRO. JESUS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **REFRIGERACIÓN Y APLICACIÓN DE QUITOSANO EN FRUTOS DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill.)**, que presenta la **M. en C. JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctora en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**. Lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

Firma electrónica
DR. VÍCTOR LÓPEZ MARTÍNEZ
Comité Evaluador

c.i.p. Archivo



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, edificio 10-A,
Tel. (777) 329 701 1, 329 70, 00, Ext. 3582 / www.uaem.mx fagropecuarias@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VICTOR LOPEZ MARTINEZ | Fecha:2024-03-07 16:46:16 | Firmante

Ga2lk0aGamVLW/2FUv8INmMeaS49g+a2G1bsIMJwgXEAM72oXhiHcDcD5sPCEbOIKKhGCUQ/7dUJ3twnhAcPCeeaV8d+g0ayFGvNm01KSI0TJCjA2fko/XXRm5GrOPqcF083
NNcq1WzEZ5E9pCuNsg32t39d7GTiFhJbwBLGFILc4u9KQm3wxz0/lzq4jGCY+r/l0ulxGaNBX7uFxyZWK+2K7SoJDCOhMzXYR0are3arhUZawZXjgDwxBWWWhBlwkXnJGyWV1E
86M5Q/6f0rU0vsVNs4CMQwls7fA32P9v3VgyMwB1M68exLwsv76WAstzR6e5qBXX5vmiA90Ui7NA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[CHE9oRdXn](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/w9Uufaeavpciplx9jSGzM2iaZw69xrl>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de los Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 29 de febrero de 2024

Asunto: voto aprobación de tesis.

MTRO. JESUS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **REFRIGERACIÓN Y APLICACIÓN DE QUITOSANO EN FRUTOS DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill.)**, que presenta la **M. en C. JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctora en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**. Lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

Firma electrónica
DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
Comité Evaluador

c.i.p. Archivo



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, edificio 10-A,
Tel. (777) 329 701 1, 329 70, 00, Ext. 3582 / www.uaem.mx fagropecuarias@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

PORFIRIO JUAREZ LOPEZ | Fecha:2024-03-05 10:29:10 | Firmante

2goms9b6i2KZz++r/LFTBaJlpyN8i7wefBRZZfW7YYV5BZ8jIKVfiWxNPCY8bAIXGUNVCdDj2aEIo/VD9t35iUceOz48ZISuk6RDuaC2ZJD12kxjxbegBCxBuKYxjiH28zV2jyT2FCWagGrA68/t7YS6aJTNDZmhvgQY9wsPpS3VgJreHCTXeD4RpJcklJJCUEUnJcWkoDKd4+RCxYqGATIEe7RiLUCZmF4ErUiDPWlhGwuuiQO4wjrWb2lfyQ/hli2N61FYn3bQAL8ejxJCuy0vi74HjpWaZWfXJR448uwvucbjll3Gts02seSjvMrW0jckAWa8rt+22oYt839Eeg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[udVm85qpS](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/WDuVJnFnKJvAGnoKTYTMZzQYjZEnvuOdl>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de los Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 29 de febrero de 2024

Asunto: voto aprobación de tesis.

MTRO. JESUS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **REFRIGERACIÓN Y APLICACIÓN DE QUITOSANO EN FRUTOS DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill.)**, que presenta la **M. en C. JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctora en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**. Lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

Firma electrónica
DRA. ERIKA ROMÁN MONTES DE OCA
Comité Evaluador

c.i.p. Archivo



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, edificio 10-A,
Tel. (777) 329 701 1, 329 70, 00, Ext. 3582 / www.uaem.mx fagropecuarias@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ERIKA ROMAN MONTES DE OCA | Fecha:2024-03-08 12:08:12 | Firmante

PL5YA+QOHYma9oqZMOQfRRChINwGa7joE7HDJwrRZf3U9OmKCSoLOn0O1nnysdm3zsoPnuRZIHsVaTB+v68iqI8d40AQF78S+B3NTPmz0t+IH/ux2akFwZ2i5nJBRJcjHEazT
yq2tXJeQmh8kuFsaWGCxtBGCBcJW42EsG5REt3fBagMnExJi0KVV/pzzRzd5F8bI738okJKvgzP4AFKQFZpqqOte1rBr9tIsjpXytxgo0idq4y1D4vnfE8/7PyBehrlGkg4HouX8mCILQ
m8w4i4sVjLzo//NJG7yy7zQvdhlrjTcjRRCpfdMdioMj6v8Ljuw4oQoQR6yAGk/quaow==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[kjAgLqKI7](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/3IADJI0nv2QICQRq94RMyaeCBvL6UMOI>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de los Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 29 de febrero de 2024

Asunto: voto aprobación de tesis.

MTRO. JESUS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **REFRIGERACIÓN Y APLICACIÓN DE QUITOSANO EN FRUTOS DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill.)**, que presenta la **M. en C. JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctora en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**. Lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

Firma electrónica
DR. NELSON AVONCE VERGARA
Comité Evaluador

c.i.p. Archivo



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, edificio 10-A,
Tel. (777) 329 701 1, 329 70, 00, Ext. 3582 / www.uaem.mx fagropecuarias@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

NELSON AVONCE VERGARA | Fecha:2024-03-13 07:50:02 | Firmante

AsAD/ImPAAZ7HTBnf32qOXoCnaSdFNEUWx0TG5bHOLucDmOTCyBoDfX2wGbUwPOUi1UTzsRONASpJyMeKRsqI8BTkOpWPCL58CfCRJDJgnq8GocP1Usw/6Hc+ecZ11yelYH30P6aO7r+Ik13OW4Y3eSP8AFrpBTLcGihkBPpOWxqJQQAe5ekoX0nzG0G9HNdWSeP0wsK0HNKcaSjpOgAR9qSu10o8Z6+lwSjnfBWCiu1BYp/mPM3+lf7j0zLqY/3pQPphso kX+F3cTFdrWEo468+93aS0Cv/ZR640igqQX4aMzMJBQM9yJFB33gm5UHKsePUaUkoJ8QSCWzK9By3acQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[i8uvmpyOc](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/YW4YKqRlpVnddltyDW2JbMPgvCL8jkY>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de los Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 29 de febrero de 2024

Asunto: voto aprobación de tesis.

MTRO. JESUS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **REFRIGERACIÓN Y APLICACIÓN DE QUITOSANO EN FRUTOS DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill.)**, que presenta la **M. en C. JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctora en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**. Lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

Firma electrónica
DR. EDUARDO CAMPOS ROJAS
Comité Evaluador

c.i.p. Archivo



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, edificio 10-A,
Tel. (777) 329 701 1, 329 70, 00, Ext. 3582 / www.uaem.mx fagropecuarias@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

EDUARDO CAMPOS ROJAS | Fecha:2024-03-13 16:15:19 | Firmante

kUaVSix4+4J38zdQGpO/7lpGM+DZw5W+X8QNYZToLonpfN7zl0d7TNdpapiaVo7CxZHvYFrDeDaVMxgumTMr5ejyinBxOmxaqtRRrWmn7qCOOM8YO/AK+Q2gMOQZTgtBrguXsCxqTTf3QR8QnACEFE7IUxWaJEhwCuTYvk/G8cdgY5XRE1mMSfDaiKrVB5zp3buZ4n/kXYmSo7xJeTWWh/vqXqXMCvt41IfSqTTqHa1PAOdFrr6JbWCsQHIBCcKY0YRymCEG/VAKZgR3CcssVnyvOzhaT8I4EWqAtAwYSZ/GWPO/zKETw2bo//JLfG+kd+Bfcl3eljMMH/WNII34A==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[YNMCJgbAx](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/sv8boong6WUp5J7K3T3zkV2WwIDxm1nk>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de los Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 29 de febrero de 2024

Asunto: voto aprobación de tesis.

MTRO. JESUS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **REFRIGERACIÓN Y APLICACIÓN DE QUITOSANO EN FRUTOS DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill.)**, que presenta la **M. en C. JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctora en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**. Lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

Firma electrónica
DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS
Comité Evaluador

c.i.p. Archivo



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, edificio 10-A,
Tel. (777) 329 701 1, 329 70, 00, Ext. 3582 / www.uaem.mx fagropecuarias@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

GLORIA ALICIA PEREZ ARIAS | Fecha:2024-03-05 11:45:30 | Firmante

P1eNm1oTWAHFLX/vjLYXaoe6r2FINVBfvDtcWxY5HI/ke7oJalviCgFAFWn039bGTIVImxe8eazdYksgHScF3h6agr11HGGr/865Zv+5fiDjygEZOXFmymAlmA2pgsAr671y02Y9LEz
oOh/5o2i90exmFiHnW/ftfPr57mc3cW2/qSL+yd9Np3v0nW//NKTYGOpRIRzvsAoG5LXh5blq3UEiPc7P30rlwZPBpMt2IVaPTu8ttjVysvUdw2+9G+MvwEzzdPLSVpDW+prtUnDMU
Wddm54/T707wuvd0YX6owoVuYLz1eoSyuDv3vwotnHEUzbAw+ctUWPHzUQUElgg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[Lxs8eVFJf](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/YkmyoVT03EAl69qHlvpBE0AMsvcD1lgW>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029