



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

---

**EVALUACIÓN DE HEXANAL COMO RETARDADOR DE LA SENESCENCIA DE  
CHIRIMOYA (*Annona cherimola* L.).**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO HORTÍCOLA**

**P R E S E N T A:**

**MARTÍNEZ FLORES LUIS ANTONIO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**Dr. Irán Alia Tejacal**

**Coodirector: Dr. José Orlando Jiménez Zurita**

**Cuernavaca, Morelos, enero de 2021**



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

**EVALUACIÓN DE HEXANAL COMO RETARDADOR DE LA SENESCENCIA EN  
CHIRIMOYA (*Annona cherimola* L.)**

**Tesis realizada por Luis Antonio Martínez Flores bajo la dirección del comité  
revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito para  
obtener el título de:**

**INGENIERO HORTÍCOLA**

---

**Director: Dr. Iran Alia Tejacal**

---

**Coodirector: Dr. José Orlando Jiménez Zurita**

---

**Revisor: Dra. Gloria Alicia Pérez Arias**

---

**Revisor: Dr. Juan Emilio Álvarez Vargas**

---

**Revisor: M.C. Alyn Mariana Palacios Sosa**

---

**Revisor: M.C. Oliver Monarres Cuevas**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al proyecto: Aprovechamiento del germoplasma, desarrollo tecnológico e innovación en cadenas de valor de anonáceas en México”, con clave 2015-4-266891 SAGARPA/CONACYT por haberme proporcionado una beca y apoyo en la adquisición de reactivos y materiales para la realización de la presente investigación.

## **DEDICATORIA**

A mi familia por todo el apoyo durante este proceso de aprendizaje continuo, por enseñarnos el valor del esfuerzo y darnos como herencia el estudio y la actitud de mejorar día con día, a mi madre por enfocar su vida en formar buenas personas, con la exigencia del día a día enseñándonos a trabajar para merecer.

A mi director de tesis, por la paciencia y dedicación para poder llevar a cabo este proyecto, a mis compañeros del laboratorio por su entusiasmo de aprender enseñando.

## Índice general

Resumen .....	7
Abstract: .....	8
1.- Introducción.....	9
2. Objetivo general .....	11
3. Hipótesis.....	11
4. Materiales y Métodos .....	12
4.1. Localización y material vegetal .....	12
4.2. Organización experimental .....	12
4.3. Variables evaluadas.....	13
4.3.1. Variables no destructivas .....	13
4.3.2. Variables destructivas .....	14
3.4. Análisis de datos .....	16
5. Resultados y discusión.....	17
5.1. Respiración .....	17
5.2. Pérdida de peso.....	18
5.3. Parámetros de color: Luminosidad (L*), cromaticidad (C*) y matiz (h).....	20
5.4. Firmeza .....	24
5.5. Sólidos solubles totales.....	25
5.6. Acidez titulable .....	27
5.7. Índice de sabor.....	28
5.8. Vitamina C .....	29
5.9. Catalasa: actividad y actividad específica.....	31
5.10. Superóxido dismutasa (SOD): actividad y actividad específica.....	33
5.11. Proteína soluble .....	36
5.12. fuga de electrólitos .....	37
6. Conclusiones.....	39
7. Literatura citada.....	40

## Índice de figuras

FIGURA 1 .....	18
FIGURA 2 .....	19
FIGURA 3 .....	21
FIGURA 4 .....	22
FIGURA 5 .....	23
FIGURA 6 .....	25
FIGURA 7 .....	26
FIGURA 8 .....	28
FIGURA 9 .....	29
FIGURA 10 .....	30
FIGURA 11 .....	31
FIGURA 12 .....	32
FIGURA 13. ....	34
FIGURA 14. ....	35
FIGURA 15 .....	37
FIGURA 16 .....	38

## Resumen

La chirimoya es la segunda especie de la familia Annonaceae con mayor superficie cultivada en México, debido a sus características organolépticas y nutricionales se considera de gran potencial para el mercado nacional e internacional. Sin embargo, es un fruto altamente perecedero y susceptible al daño por frío, por lo que la búsqueda de retardadores de la maduración es preponderante para mejorar su vida útil. El objetivo fue evaluar la aplicación de Hexanal a temperatura ambiente y en refrigeración, para posteriormente generar tecnologías de manejo del fruto. Se cosecharon frutos de chirimoya 'Cuadrada' en Huecahuasco, Morelos y se le aplicó Hexanal en dosis de 1 mM y se almacenaron los frutos a temperatura ambiente (20 °C; 6 % HR) por ocho días y en refrigeración (15 °C; 85 % HR) por 20 días, se tuvieron frutos en cada condición sin la aplicación del Hexanal para la comparación. Los resultados indican que los frutos de chirimoya 'Cuadrada' almacenados a temperatura ambiente mostraron un comportamiento climaterico y la aplicación de Hexanal aceleró el pico climaterico, probablemente por causar estrés. La aplicación de Hexanal no afectó la pérdida de peso, firmeza, contenido de sólidos solubles totales; pero si mejoró la luminosidad, incremento la acidez titulable, disminuyó el índice de sabor, aceleró el máximo de actividad enzimática y pérdida de vitamina C. La refrigeración a 15 °C no causó daño por frío y retrasó los procesos de maduración en la chirimoya 'Cuadrada', esta tecnología puede favorecer la vida útil del producto hasta por 20 días. En conclusión, la aplicación ocasionó una aceleración de la maduración probablemente porque causó un estrés en la forma de aplicación, sin embargo, algunos parámetros de calidad fueron favorecidos, lo que debe investigarse con mayores dosis y formas de aplicación como aspersiones previas a la cosecha o en vapor.

**Palabras clave:** respiración, luminosidad, matiz, catalasa, acidez titulable.

**Abstract:** Cherimoya is the second species of the Annonaceae family with the largest cultivated area in Mexico. Due to its organoleptic and nutritional characteristics it is considered to have great potential for the national and international market. However, it is a highly perishable fruit and susceptible to cold damage, so the search for ripening retardants is preponderant to improve its shelf life. The objective was to evaluate the application of Hexanal at room temperature and in refrigeration, to later generate technologies for handling the fruit. We harvested 'Cuadrada' cherimoya fruits in Huecahuasco, Morelos and applied Hexanal in a dose of 1 mM and stored the fruits at room temperature (20 °C; 6% RH) for eight days and in refrigeration (15 °C; 85% RH) for 20 days. We had fruits in each condition without the application of Hexanal for comparison. The results indicate that the 'Square' cherimoya fruits stored at room temperature showed a climacteric behavior and the application of Hexanal accelerated the climacteric peak, probably because of causing stress. The application of Hexanal did not affect the loss of weight, firmness, content of total soluble solids; but it did improve the luminosity, increased the titratable acidity, decreased the flavor index, accelerated the maximum of enzymatic activity and loss of vitamin C. Refrigeration at 15 °C did not cause cold damage and delayed the ripening processes in the 'Cuadrada' custard apple, this technology can favor the shelf life of the product for up to 20 days. In conclusion, the application caused an acceleration of the ripening probably because it caused a stress in the form of application, however, some quality parameters were favored, which should be investigated with higher doses and forms of application such as pre-harvest or steam sprays.

**Keywords:** respiration, luminosity, hue, catalase, titratable acidity.

## 1.- Introducción

La familia *Annonaceae* consiste en aproximadamente de 75 géneros, ampliamente distribuido en el mundo, solo cuatro géneros de la familia producen fruto comestible (Paull y Duarte, 2011). El género *Annona* es el más importante de la familia, siete especies y un híbrido son comercialmente cultivado (Paull y Duarte, 2011). La chirimoya es una de las especies del género *Annona* que se cultiva a nivel mundial. Se considera que la chirimoya es originaria de los valles en las montañas de Perú y Ecuador y posteriormente introducido a América Central (Thompson, 2015). Sin embargo, recientemente (Larranaga et al. 2017) con análisis biogeográfico y marcadores SSR indican el probable origen en Mesoamérica de la chirimoya, aun antes al origen Sudamericano.

La chirimoya es cultivada en forma comercial en varias partes del mundo, particularmente en Portugal, Taiwán, Italia, Australia, México, Perú, Ecuador, California (USA) y España, este último es el mayor productor (Anaya -Esparza et al., 2018). En 2019, México reporta 36 ha establecidas que producen 247.3 t (SIAP, 2020). Recientemente, Rodríguez-Núñez et al. (2020) determinaron que en México se puede encontrar chirimoya en su estado natural en tres regiones: El Cinturón Volcanico Trans-Mexicano, la Sierra Madre del Sur y las Tierras Altas de Chiapas, y para su cultivo se pueden adicionar otras regiones como la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental, los autores indican que de acuerdo a su modelos, el cambio climático no afectara las áreas antes descritas para su cultivo.

La chirimoya es altamente apreciada por su fruto, el cual es un fruto compuesto, de forma cónica y en ocasiones en forma de corazón de 10 a 20 cm de largo y 10 cm de ancho, con un peso promedio de 150 a 500 g, aunque algunos especímenes se han registrado de 2.7 kg (Morton, 2013). La cascara es delgada y suave, con marcas de “dedos” o protuberancias redondeadas. El fruto se rompe fácilmente, la pulpa es blanca, jugosa de aroma agradable, sabor subacido y conteniendo numerosas semillas, café o negras (Morton, 2013).

La chirimoya aporta notables cantidades de calcio, fósforo, carbohidratos, tiamina, riboflavina, fructosa, glucosa, sacarosa, celulosa, hemicelulosa, lignina y sustancias

pecticas y bajos contenidos de lípidos y carbohidratos (Pareek et al., 2011). Anaya-Esparza et al. (2018) indican que en la pul

pa de la chirimoya se tiene la presencia de compuestos naturales considerados bioactivos como: polifenoles, tocoferoles, fitosteroles, diterpenos y triterpenos.

El fruto de chirimoya es clasificado como un fruto climatérico (Anaya-Esparza et al., 2018). Es considerado altamente perecedero y tiene una vida poscosecha corta y la mayoría de los cambios que están relacionados con la calidad ocurren durante la maduración del fruto. A temperatura ambiente la chirimoya madura entre 6 y 7 días, la respiración se incrementa presentando dos máximos de producción, la producción de etileno aumenta y alcanza un máximo después del máximo de CO<sub>2</sub>, los sólidos solubles totales aumentan (18 – 24 °Brix), la acidez titulable se incrementa y la firmeza disminuye rápidamente (Palma et al., 1993).

La forma más utilizada para retrasar la maduración de la chirimoya es la utilización de la refrigeración, sin embargo, debido a que es un frutal tropical es susceptible a daño por frío cuando se almacena a temperatura menores de 8 a 10 °C (Palma et al., 1993). Recientemente, Zainalabidin et al. (2019) indican que se puede almacenar a 8-9 °C y HR de 90 % por 7 a 14 días y Yahia (2020) indica que la chirimoya se puede almacenar de 2 a 4 semanas a 13 °C y una HR de 95-100 %. Estas recomendaciones generales, se modifican ligeramente en dependencia de la variedad que se esté trabajando.

La vida poscosecha de frutas y hortalizas, se pueden aumentar al disminuir la degradación de la membrana, que es iniciada por la enzima fosfolipasa, esta a su vez puede ser inhibida por el hexanal; además esta molécula es un efectivo inhibidor de las señales de transducción de la ruta de etileno (Paliyath y Padmanabhay, 2019). Recientemente se ha evaluado con éxito en frutos como manzana, banano, cereza, cítricos, uvas, guayaba, mango, nectarinas, papaya, durazno, jitomate y chile morrón (Paliyath y Padmanabhay, 2019), pero en chirimoya aún no se ha evaluado, que es el objetivo del presente trabajo.

## **2. Objetivo general**

Evaluar los cambios físicos, químicos y fisiológicos de frutos de chirimoya previa aplicación de hexanal bajo refrigeración con la finalidad de generar conocimiento para desarrollar posteriormente tecnología en la búsqueda de incrementar la vida poscosecha del fruto.

## **3. Hipótesis**

La aplicación de hexanal incrementa en 50 % la vida poscosecha de los frutos de chirimoya.

## **4. Materiales y Métodos**

### **4.1. Localización y material vegetal**

Frutos de chirimoya en madurez fisiológica 'Cuadrada', se recolectaron en huertas en la región oriente del estado de Morelos, principalmente en Huecahuasco, Ocuituco (18° 52' 41" LN 98° 46' 31" LO). El municipio tiene una temperatura media de 18° C a 22° C de acuerdo con la modificación al sistema de clasificación climática de Koopen. La localidad de Huecahuasco se localiza entre 2000 y 2800 msnm, su precipitación y temperatura media anual es de 1,300 mm y 16° C respectivamente. Se utilizó el índice de cosecha que utiliza el productor, es decir, se observó que los frutos muestren un cambio a de color verde oscuro a uno verde amarillento (Palma et al., 1993). Los frutos fueron cosechados manualmente colocados en cajas de plástico y transportados vía terrestre al Laboratorio de Producción Agrícola en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. En el laboratorio los frutos fueron lavados con una solución clorada al 1 % y secados al aire, para su posterior uso. Se seleccionaron frutos sin daños mecánicos o por patógenos.

### **4.2. Organización experimental**

Se formaron cuatro lotes de 20 frutos, los cuales se les aplicó los siguientes tratamientos: 1) frutos almacenados a 22 °C sin aplicación de ningún producto químico, 2) frutos con aplicación por inmersión de 10 min en una solución de 1 mM de hexanal (Sigma Aldrich®) almacenados a 22 °C, 3) Aplicación por inmersión de 10 min en una solución de 1 mM de hexanal (Sigma Aldrich®), almacenados a 12 °C y 4) Frutos sin aplicación hexanal almacenados a 12 °C. Los frutos almacenados a temperatura ambiente se evaluaron a los 0, 4 y 8 días en las variables destructivas y diariamente en las variables no destructivas. Los frutos almacenados a temperatura baja (12 °C) se evaluaron a los 0, 5, 10 y 15 días para las variables destructivas y las variables no destructivas.

El diseño experimental fue uno completamente al azar. Un fruto se consideró como la unidad experimental y se tuvieron cinco repeticiones. El hexanal se preparó

utilizando etanol puro al 95 % + Hexanal + Tween 20 (Sigma Aldrich®) y se diluyó con agua destilada (Paliyath y Padmanabhay, 2019).

### 4.3. Variables evaluadas

#### 4.3.1. Variables no destructivas

**Pérdida de peso.** Los frutos de guanábana se pesaron en una balanza digital (OHAUS, USA) y el peso inicial se comparó con el registrado en cada fecha de evaluación y se calculó el porcentaje final de pérdida de agua del fruto con la fórmula siguiente:

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

**Color.** El color externo del fruto se determinó en dos lados opuestos de la parte ecuatorial del fruto con un espectrofotómetro esfera (X-rite®-SP60, USA). Se registraron los valores de Luminosidad ( $L^*$ ), cromaticidad ( $C^*$ ) y matiz ( $h$ ) (Neguerula, 2012).

**Velocidad de respiración y producción de etileno.** La velocidad de producción de respiración ( $\text{CO}_2$ ) y producción de etileno fueron cuantificados mediante un sistema estático (Salveit, 2016) que consistió en colocar un fruto de masa conocida en recipientes de vidrio con capacidad de 5000 mL, cerrados herméticamente durante 2 horas. Posteriormente, se tomó 1 mL de gas del espacio de cabeza a través de la septa de los frascos, para inyectarlo a un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890A GC), con una columna tipo abierta con empaque de capa porosa de sílica conectada simultáneamente a un detector de ionización de flama (FID) a una temperatura de 170°C y otro de conductividad térmica (TCD) a 170 °C, como gas acarreador se utilizó  $\text{N}_2$  (2 mL/min). El inyector y horno del cromatógrafo mantuvieron una temperatura de 150 y 80 °C respectivamente durante las

mediciones. Para la cuantificación se utilizaron estándares de CO<sub>2</sub> (460 ppm) y etileno (100 ppm) (Quark INFRA®).

#### **4.3.2. Variables destructivas**

**Firmeza de la pulpa.** Las mediciones se realizaron en la parte ecuatorial del fruto. Se midieron con una estación de pruebas Shimadzu® (Japón) con puntal cónico de 11 mm de diámetro y 10 mm de altura. De los cuales se procuro que el puntal no tocara la semilla. Los resultados se expresaron en Newton (N).

**Sólidos solubles totales.** Se determinaron con refractómetro digital ATAGO Pal-1® (0 a 45 %). De la parte media del fruto se tomó una porción del fruto y se colocó en un extractor, para obtener unas gotas de jugo, que se colocaron en el refractómetro. Los resultados se reportaron como °Brix.

**Acidez titulable.** Se obtuvo por medio de la técnica de la AOAC (1995). Un gramo de pulpa se homogenizó con 10 mL de agua destilada, posteriormente se filtró la mezcla y del filtrado se tomaron 5 mL, los cuales se titularon con NaOH (0.1 N) con pH final de 8.5 para calcular el porcentaje de ácido málico. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico.

Aproximadamente 10 g de pulpa fueron almacenadas en un ultracongelador de cada fruto evaluado, para posteriormente determinar la salida de electrolitos, el contenido de proteína soluble y la actividad de catalasa (Jincy et al. 2017).

#### **Fuga de electrolitos**

En esta variable se evaluó considerando lo descrito por Rodríguez-Verástegui et al. (2015).

## **Vitamina C**

La concentración de ácido ascórbico se determinó por un método colorimétrico (Silva *et al.*, 2017), que se basa en la reducción de iones cúpricos ( $\text{Cu}^{2+}$ ) a iones cuprosos ( $\text{Cu}^{+}$ ) a través de la acción de ácido ascórbico en la presencia de cuproina, un agente complejo que absorbe a 545 nm.

## **Catalasa**

Para la actividad enzimática se preparó polvo de acetona, para esto 10 g de tejido se molieron con 15 mL de acetona fría, el macerado se seco a temperatura ambiente y se almacenó a baja temperatura, hasta la evaluación de la enzima.

La CAT se extrajo del polvo de acetona: 0.5 g se mezclaron con 5 mL de TrisHCl 0.1 M con pH 8.5 que contenían 1 % de polivinilpirrolidona, en un homogenizador de tejidos. La mezcla se centrifugó a 12 000 g por 20 min en una centrífuga refrigerada a 4 °C. La actividad de CAT se evaluó mediante el método descrito por Lück (citado por Blackwell *et al.*, 1990), donde 3 mL de un amortiguador 10 mM Tris-HCl, pH 8.5 y 0.1 mL de peróxido de hidrógeno 0.88 % en 100 mM de Tris-HCl, se mezclarán en una celda de cuarzo del espectrofotómetro. La reacción se inició al adicionar 0.1 mL de extracto crudo y se observará el cambio en absorbancia a 240 nm, y la actividad enzimática se reportará como  $\text{U g}^{-1}$  de peso fresco, donde una unidad de actividad enzimática es igual a la descomposición de  $1 \mu\text{mol min}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Los ensayos se llevaron a cabo a temperatura ambiente, entre 22 y 24 °C.

## **Proteína soluble**

La proteína soluble se determinó por el método de Bradford (1976). Para ello se mezclaron 0.1 g de polvo de acetona con 5 mL de buffer Tris HCl 0.1 M (pH 7.1), en frío. La mezcla se centrifugó a 12,000 rpm por 15 min (4 °C). A una muestra de 0.1 mL del sobrenadante se adicionaron 5 mL de la solución Coomassie Blue, se agitó y

registró la absorbancia a 595 nm en el espectrofotómetro (Genesys UV Vis 10). La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración con albúmina de bovino.

#### **4.3.4. Análisis de datos**

Los datos fueron analizados mediante pruebas de t, al comparar los frutos donde se aplicó hexanal y los frutos donde no se aplicó hexanal en ambas temperaturas. Los análisis se realizaron con el paquete SigmaPlot (Systat Software, San Jose, CA). Se presentan graficas con la media y su error estándar elaboradas con el programa SigmaPlot (Systat Software, San Jose, CA).

## **5. Resultados y discusión.**

### **5.1. Respiración**

La respiración en los frutos de chirimoya 'Cuadrada' testigo almacenados a temperatura ambiente (sin aplicación de Hexanal) mostraron dos máximos de producción de CO<sub>2</sub>, uno a los tres y otro a los seis días después de la cosecha (Figura 1 A). Palma et al. (1993) reportan que los frutos de chirimoya presentan dos máximos de producción de CO<sub>2</sub>, y que se atribuyen a una característica inherente a los frutos de la familia Annonaceae. Los frutos donde se aplicó el Hexanal, solo mostraron un máximo de producción de CO<sub>2</sub>, al cuarto día después de la aplicación de los tratamientos, posterior a ello se observó una disminución constante de la respiración (Figura 1 A). La respiración fue significativamente mayor en los frutos donde se aplicó Hexanal el cuarto y quinto día después del tratamiento, lo que sugiere que la aplicación de Hexanal adelantó la presencia del máximo climatérico, probablemente por ocasionar un estrés en el fruto.

En los frutos almacenados a 15 °C por 15 días no se detectaron diferencias entre los frutos sin aplicación de Hexanal y los frutos donde se aplicó el Hexanal (Figura 1 B). La velocidad de respiración se incrementó en todos los frutos al final de la evaluación, entre los 15 y 20 días de almacenamiento (Figura 1 B). Palma et al. (1983) indican que la refrigeración a 12 °C retrasa la producción de CO<sub>2</sub> en los frutos de chirimoya, lo cual se confirmó en el presente trabajo.

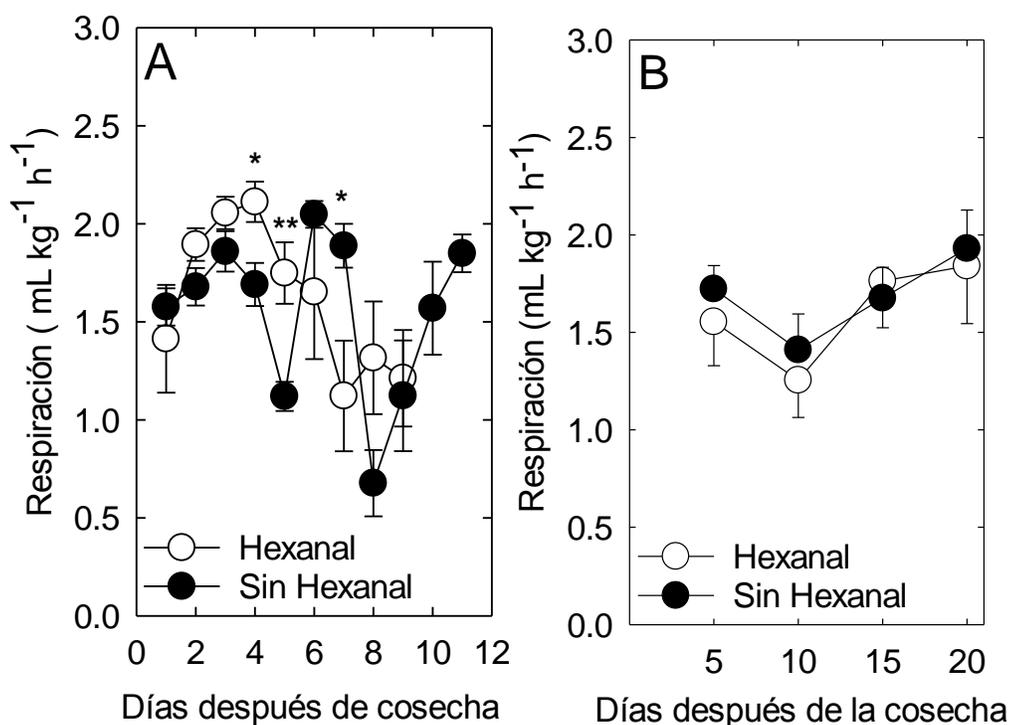


Figura 1. Velocidad de respiración en frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

## 5.2. Pérdida de peso.

La pérdida de peso no fue afectada por la aplicación de Hexanal tanto a temperatura ambiente como en refrigeración (Figura 2). Los frutos almacenados a temperatura ambiente tuvieron una pérdida de peso acumulada entre 12.21 y 12.96 % en 9 días, lo que significa entre 1.35 y 1.44 % de pérdida diaria (Figura 2 A). Cordeiro et al. (2013) reportan una pérdida de peso alrededor de 9 % después de almacenar frutos de chirimoya ‘Madeira’ a 20-22 °C, lo que sugiere una pérdida de peso de 1.8 % por día. La pérdida de peso es un factor que puede ser afectado por la variedad y las condiciones de almacenamiento.

Los frutos almacenados a 15 °C por 20 días tuvieron una pérdida de peso entre 11.36 y 11.90 %, con una pérdida de peso entre 0.56 y 0.59 % por día (Figura 2 B). Las condiciones de almacenamiento ayudaron a retrasar la pérdida de peso, humedad relativa alta > 80 % y baja temperatura 15 °C son condiciones adecuadas para disminuir el Déficit de Presión de Vapor retrasando la pérdida de agua (Wills y Golding, 2016), en tanto que la baja temperatura ayuda a disminuir la velocidad de los procesos metabólicos (Valero y Serrano, 2010).

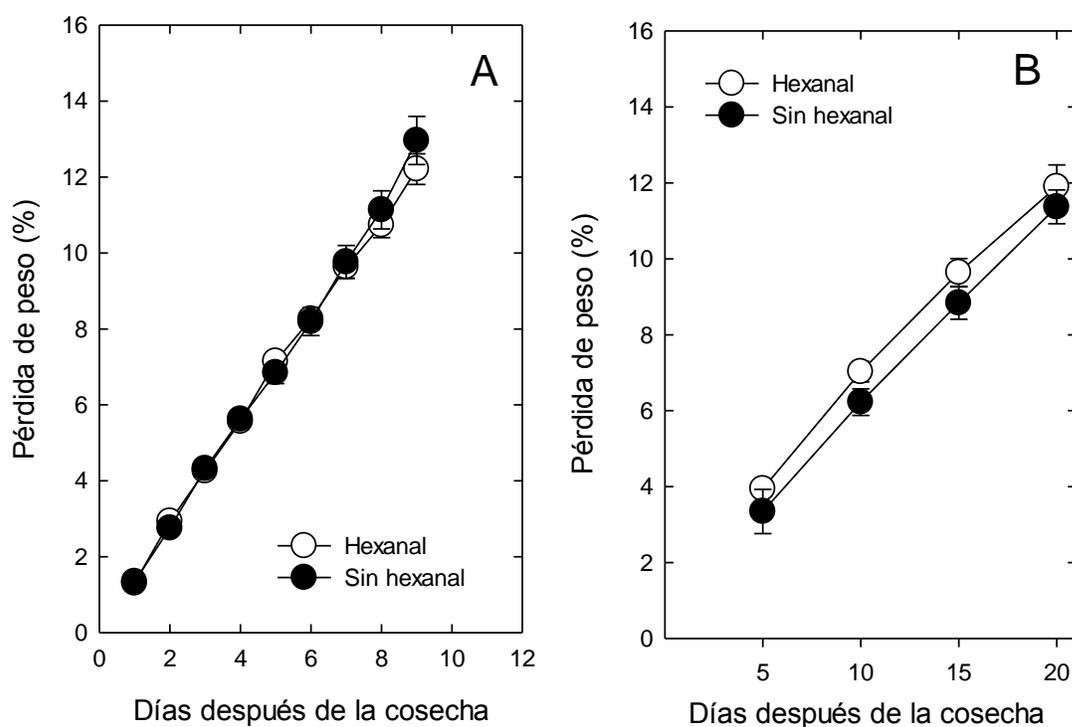


Figura 2. Velocidad de respiración en frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo con la prueba de t de student.

### 5.3. Parámetros de color: Luminosidad ( $L^*$ ), cromaticidad ( $C^*$ ) y matiz (h).

La luminosidad fue significativamente mayor en los frutos almacenados a temperatura ambiente cuando no se aplicó Hexanal, manteniendo valores entre 46.2 y 50 (Figura 3 A). En tanto que en los frutos donde se aplicó Hexanal los valores estuvieron entre  $L^*= 33$  y 42.8 (Figura 3 B). Berger y Galleti (2005) indican que en chirimoya 'Cabildo' y 'Nogales' el mejor momento de cosecha es cuando los valores están alrededor de  $L^*= 55$ . En poscosecha la chirimoya presenta un oscurecimiento de la cáscara lo que limita su comercialización, este fenómeno se atribuye a un incremento de la actividad de polifenoloxidasa (Palma et al., 1993; Pareek et al., 2011). En la variedad evaluada 'Cuadrada' no se observó disminución de la luminosidad, lo que se considera es una característica atractiva de esta variedad.

En refrigeración, se detectó que la aplicación de Hexanal incremento significativamente la luminosidad de los frutos así los frutos tratados con Hexanal aumentaron de  $L^*= 38.9$  a  $L^*= 47.52$  después de 15 días; y los frutos donde no se aplicó el Hexanal la luminosidad se incrementó de  $L= 32.7$  a  $L^*= 40.84$  (Figura 3 B). La chirimoya es susceptible a daño por frío cuando se almacena a temperatura menor de 10 °C (Palma et al., 1993) y una característica es el oscurecimiento de la cáscara, por lo que en el presente experimento la temperatura utilizada se considera fue segura y el Hexanal mejoró la luminosidad.

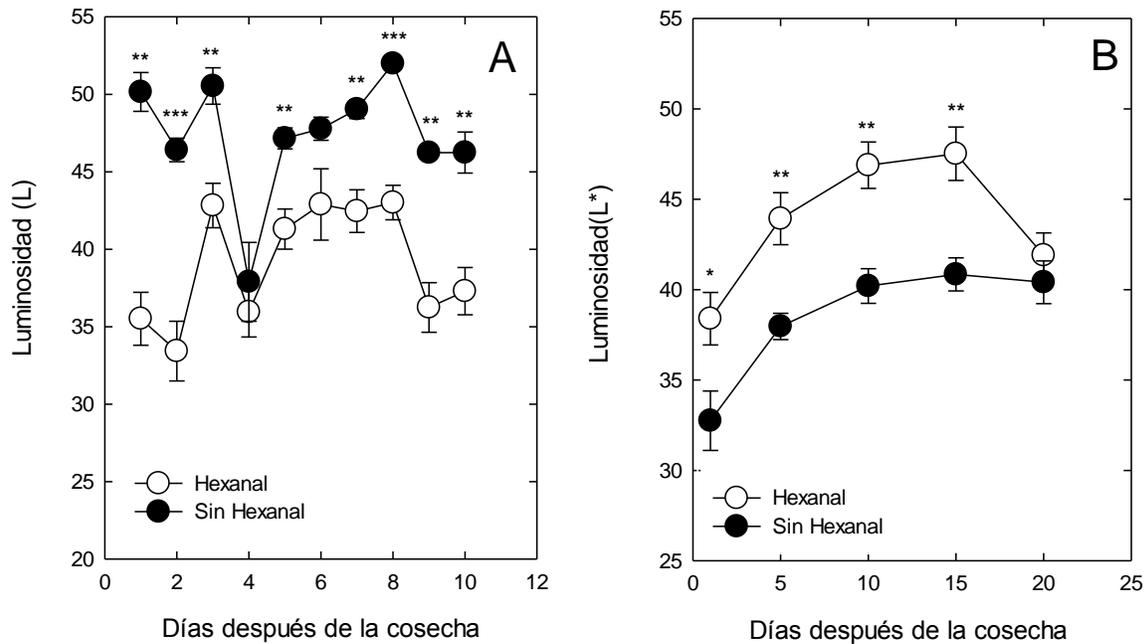


Figura 3. Cambios en la luminosidad de frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo con la prueba de t de student.

La cromaticidad de los frutos evaluados a temperatura ambiente se mantuvo entre  $C^* = 22$  y  $26$  los primero ocho días después de la cosecha, al noveno día los frutos donde se aplicó Hexanal los valores disminuyeron, en tanto que en los frutos son aplicación de Hexanal se mantuvo un día más (Figura 4 A). Lo anterior sugiere que el Hexanal aceleró ligeramente la opacidad de los frutos. Berger y Galleti (2005) sugieren que en la variedad ‘Cabildo’ y ‘Nogales’ la cosecha de los frutos debe ser cuando los valores de cromaticidad sean alrededor de  $C^* = 36$ . En la variedad ‘Cuadrada’ los valores de cromaticidad fueron menores.

Por otra parte los frutos refrigerados y donde se aplicó Hexanal tuvieron significativamente mayores valores por 15 días bajo esa condición (Figura 4 B),

indicando un efecto positivo en este parámetro de color. Padmanabhan y Paliyath (2019) indican que la aplicación en forma de aspersión 15 y 7 días antes de la cosecha en frutos de cereza dulce, observaron que durante el almacenamiento los valores de cromaticidad se incrementaron, indicando una mejor pureza del color, similares resultados se observaron en el presente trabajo.

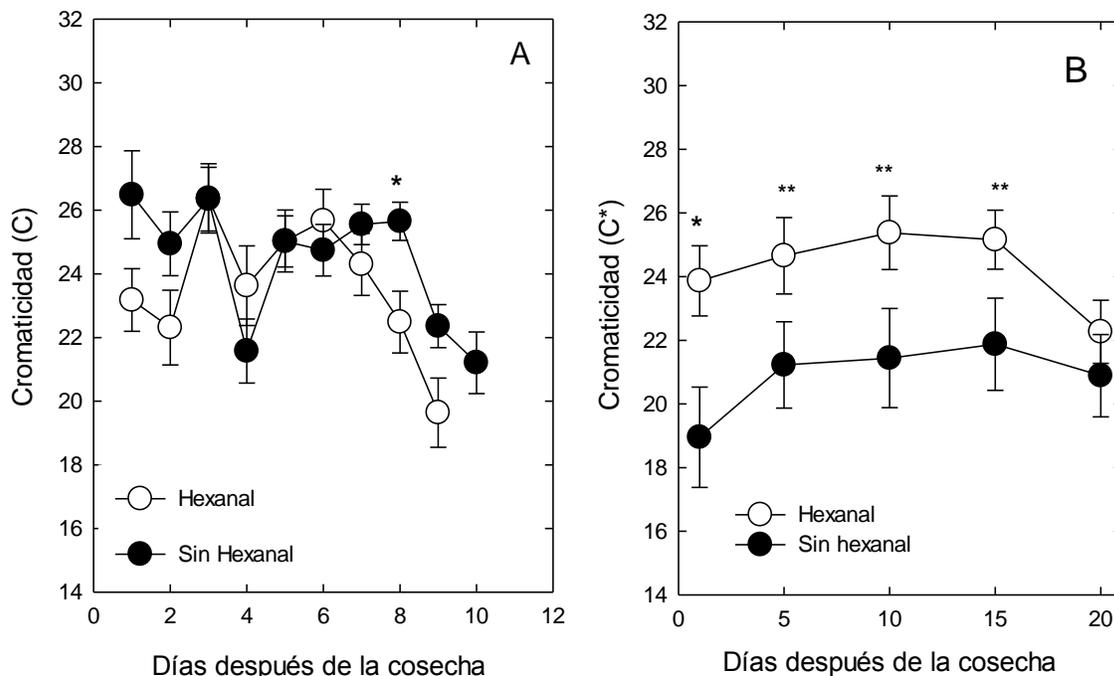


Figura 4. Cambios en la cromaticidad de frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

El matiz en los frutos mantenidos a temperatura ambiente mantuvo valores similares los primeros seis días, independientemente de la aplicación o no de Hexanal, h= entre 97.9 y 100.4; posteriormente los frutos donde se aplicó Hexanal mostraron significativa disminución del matiz h= 90.5; en tanto que los frutos sin

aplicación de Hexanal los valores se mantuvieron hasta por 10 días,  $h = 91.7$  (Figura 5 A). López (2020) indican que en frutos de chirimoya, el matiz disminuye después de ocho días a temperatura ambiente, previo almacenamiento a  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y que la aplicación de extractos de *Vitis* retrasan este comportamiento. En el presente experimento, el Hexanal aceleró el cambio de color.

En refrigeración no se detectaron diferencias significativas entre los frutos almacenados con o sin Hexanal, ya que los primeros 15 días se mantuvieron en valores entre  $h = 97.2$  y  $h = 100.2$ ; posteriormente el matiz disminuyó hasta  $h = 88.1$  y  $h = 94.5$  (Figura 5 B).

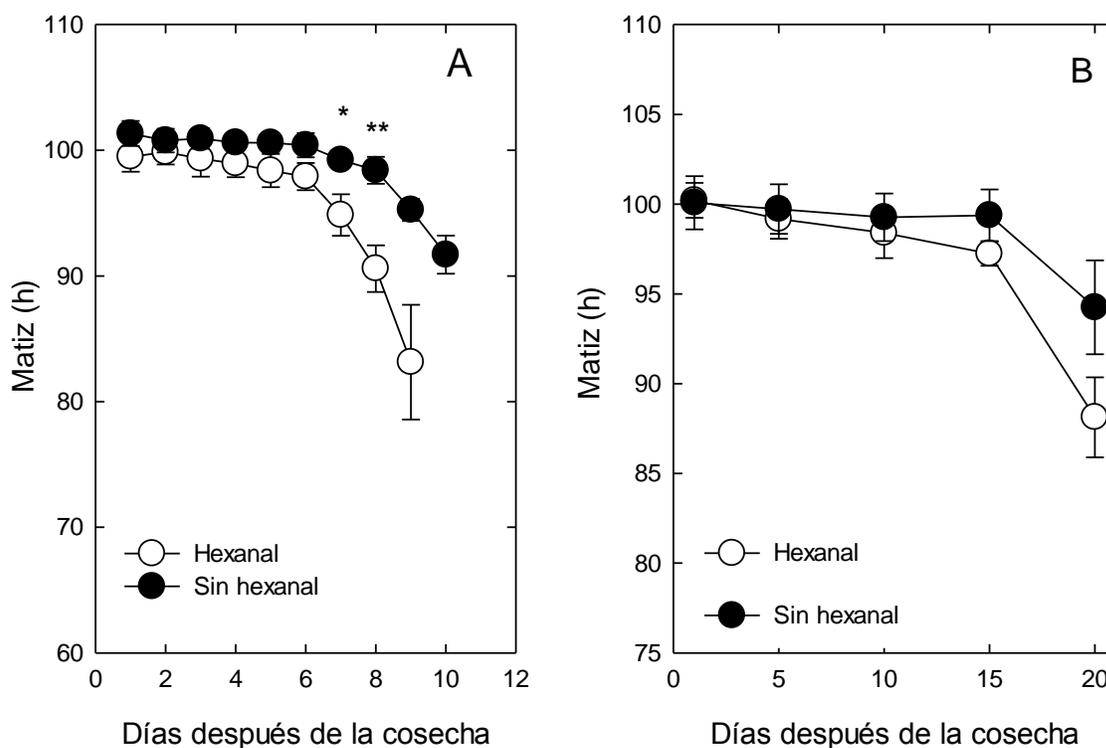


Figura 5. Cambios en el matiz de frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente ( $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y refrigeración ( $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su

error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

#### **5.4. Firmeza**

La comparación de medias por el método de Student, no detectó diferencias entre aplicar o no aplicar Hexanal a temperatura ambiente y almacenados en refrigeración (Figura 6). En los frutos evaluados a temperatura ambiente la firmeza inicial fue cercana a 20.3 N, después de cuatro días la firmeza disminuyó entre 3.6 y 13.3 N, y posteriormente a los ocho días los valores fueron de 0.3 N (Figura 5 A). Cordeiro et al. (2013) en chirimoya 'Madeira' reporta valores iniciales de firmeza de 63.6 N y cuatro días después hasta 2.7 N, considerándolo madurez de consumo. Lo anterior sugiere que la firmeza de chirimoya 'Cuadrada' es una característica atractiva, ya que facilita el manejo en postcosecha.

Los frutos almacenados a 15 °C disminuyeron constantemente su firmeza, a los cinco días de almacenamiento mostraron valores de 18.7 N, después de 15 días la firmeza fue entre 11.2 y 12.2 N, y en el último muestreo mostraron valores cercanos a 0.5 N (Figura 6 B). Pareek et al. (2011) reportan que la chirimoya almacenada a 15 °C disminuye su firmeza de 27 N a 20 N en 5 días y posteriormente en el sexto día se reduce de 20 N a 5 N. Lo anterior, mantiene la hipótesis de que la variedad 'Cuadrada' tiene una firmeza adecuada para el manejo poscosecha, por lo que es importante realizar otros estudios relacionados con las enzimas de maduración y el ablandamiento del fruto.

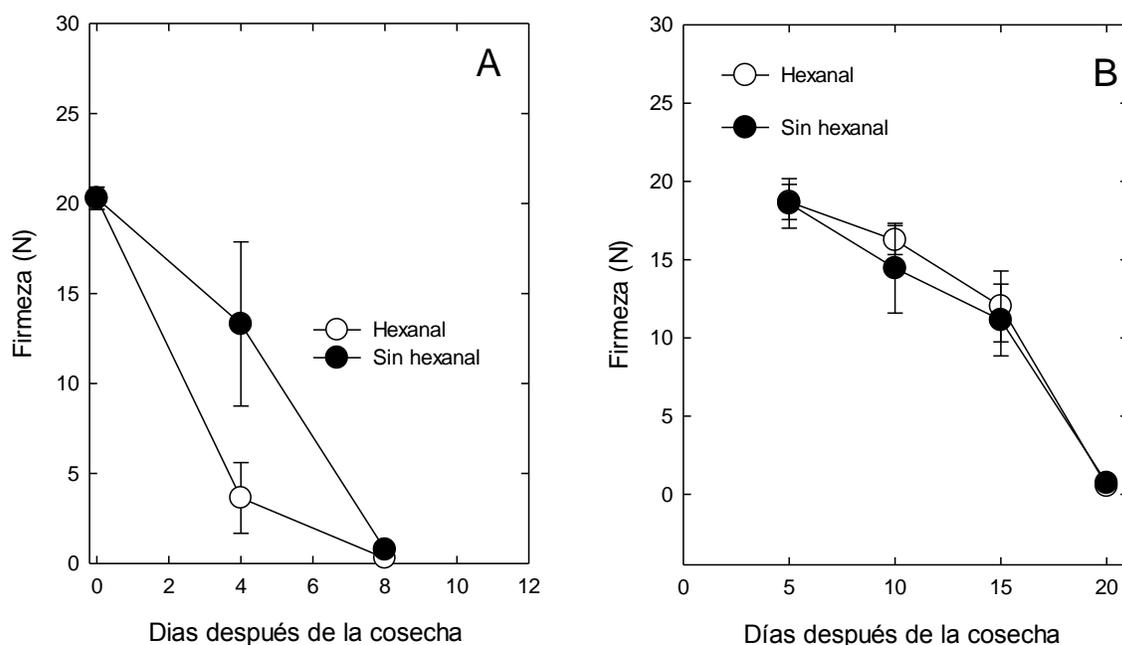


Figura 6. Cambios en la firmeza de frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

### 5.5. Sólidos solubles totales.

El contenido de sólidos solubles totales no mostró diferencias significativas entre los frutos que se aplicó o no se aplicó el Hexanal a temperatura ambiente o en refrigeración (Figura 7). En los frutos almacenados a temperatura ambiente los sólidos solubles totales se incrementaron de 7.1 °Brix al inicio de las evaluaciones a valores entre 20.2 y 21.9 °Brix después de ocho días (Figura 7 A). Diversos autores indican que la chirimoya alcanza en la cosecha alcanza entre 7.6 y 11.6 °Brix y entre 4 a 5 días almacenadas a temperaturas entre 20 y 22 °C alcanza entre 16 y 23.63 °Brix, este amplio rango se atribuye a las diferentes variedades utilizadas (Gutiérrez et al., 1994; Cordeiro et al., 2013; Gullo et al., 2019).

En tanto que en los frutos almacenados en refrigeración después de cinco días se tenían cerca de 8.8 °Brix y después de 20 días se alcanzaron entre 19.9 y 20.4 °Brix (Figura 6 B). Gutiérrez et al. (1994) indican que el almacenamiento a 12 °C retrasa la acumulación de sólidos solubles totales en frutos de chirimoya, comparados con frutos almacenados a 22 °C, similar comportamiento se observó en el presente experimento en los frutos almacenados a 15 °C. El contenido de sólidos solubles en la variedad 'Cuadrada' es muy similar a variedades comerciales de otros países.

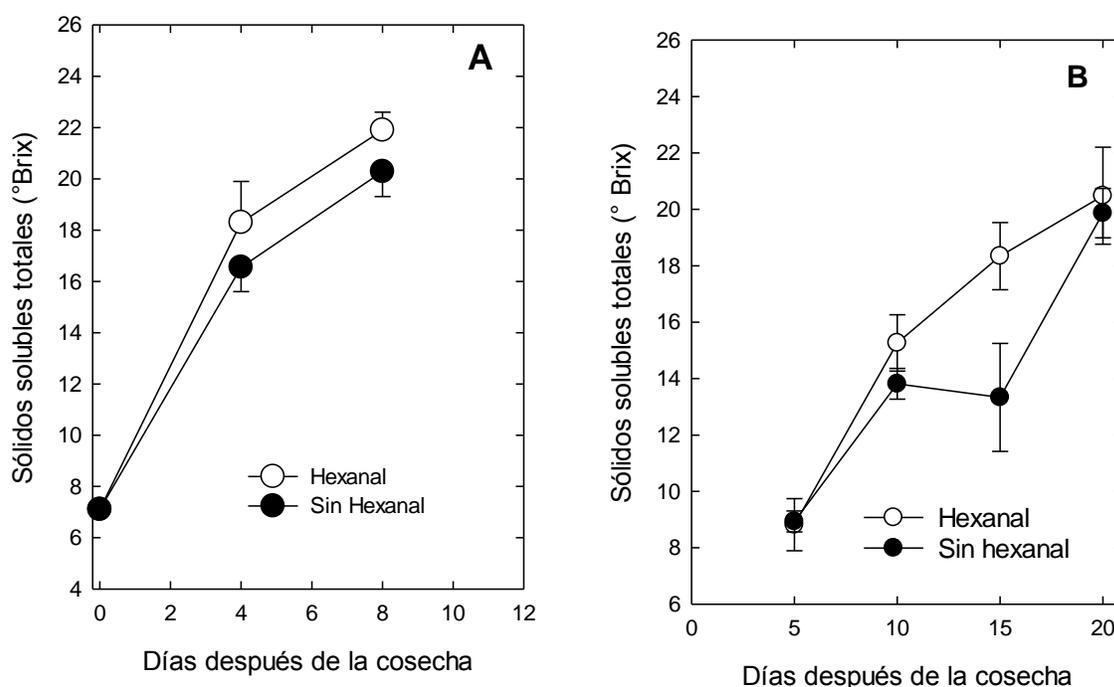


Figura 7. Cambios en el contenido de sólidos solubles totales de frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo con la prueba de t de student.

## 5.6. Acidez titulable

En los frutos almacenados a temperatura ambiente se observó que los frutos donde se aplicó Hexanal la acidez titulable se incremento de 0.15 % a 0.38 % en ocho días, no así en los frutos donde no se aplicó el Hexanal que tuvieron entre 0.15 % y 0.17 % durante todo el período de evaluación (Figura 8 A). Palma et al. (1993) indica que la acidez titulable se incrementa durante la maduración. Cordeiro et al. (2013) en chirimoya 'Madeira' reportan que la acidez titulable se incrementó de 0.11 % a 0.25 % después de 5 días. Lo anterior sugiere que el tratamiento con Hexanal favoreció y aceleró la acumulación de la acidez titulable.

En los frutos almacenados en refrigeración los frutos con Hexanal mantuvieron significativamente mayores valores de acidez titulable, entre 0.35 % y 0.45 %, en tanto que los frutos donde no se aplicó Hexanal la acidez titulable se mantuvo entre 0.25 % y 0.40 % (Figura 8 B), Lo anterior indica con firma que el Hexanal favoreció mayor acumulación de ácidos orgánicos. El ácido orgánico de mayor presencia en chirimoya es el málico (Palma et al., 1993).

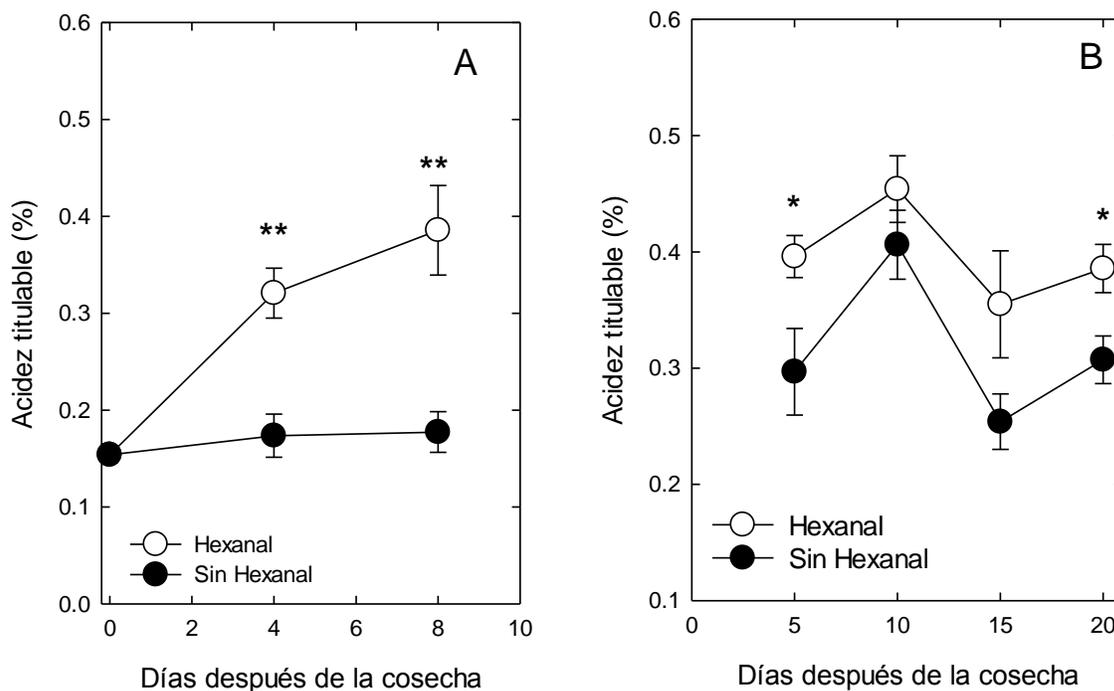


Figura 8. Cambios en la acidez titulable de frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

### **5.7. Índice de sabor**

El índice de sabor o la relación sólidos solubles totales/acidez titulable fue menor en los frutos donde se aplicó Hexanal, independientemente de si se refrigeraron los frutos o no (Figura 9). En los frutos almacenados a temperatura ambiente sin aplicación de Hexanal el índice de sabor cambio de 46.9 al inicio del experimento a 122 después de 8 días, mientras que en los frutos donde se aplicó el Hexanal el índice de sabor solo alcanzó hasta 63.3, es decir aproximadamente la mitad de los frutos con Hexanal (Figura 9 A). En los frutos refrigerados, la aplicación de Hexanal fue menor solamente a los 20 días de almacenamiento con 60.3, mientras que en los frutos donde no se aplicó el Hexanal se determinaron valores de 65.6.

Los resultados sugieren que la aplicación de Hexanal retrasó disminuyó el índice de sabor cuando los frutos de chirimoya alcanzaron la madurez de consumo (Figura 9).

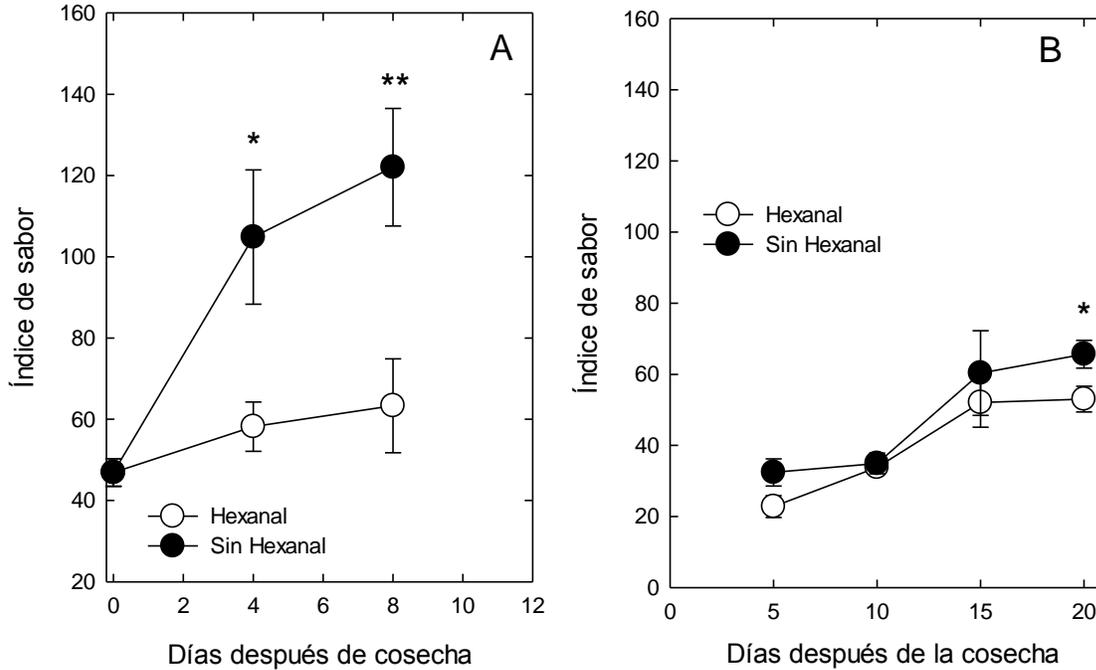


Figura 9. Cambios en el índice de sabor de frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

### 5.8. Vitamina C

La concentración de vitamina c disminuyó en los frutos evaluados a temperatura ambiente, sin detectarse diferencias debidas a la aplicación de Hexanal (Figura 10). La vitamina c disminuyó de 1.3 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco al inicio del experimento a valores entre 0.46 y 0.47 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco (Figura 10 A). Gullo et al. (2019) indica que en 4 días la vitamina c disminuye significativamente durante la maduración de dos ecotipos de chirimoya, lo cual concuerda con los resultados evaluados.

En los frutos refrigerados, la vitamina C disminuyó de  $1.36 \text{ mg g}^{-1}$  de peso fresco a entre  $0.40$  y  $0.44 \text{ mg g}^{-1}$  de peso fresco después de cinco días de almacenamiento, posteriormente los frutos donde se aplicó el Hexanal la vitamina c, no se modificó; no así en los frutos donde no se aplicó Hexanal observándose un ligero incremento a valores entre  $62$  y  $63 \text{ mg g}^{-1}$  de peso fresco (Figura 10 B). Los resultados sugieren que durante la maduración de chirimoya la vitamina c se degrada en gran proporción, y el Hexanal acelero esta disminución.

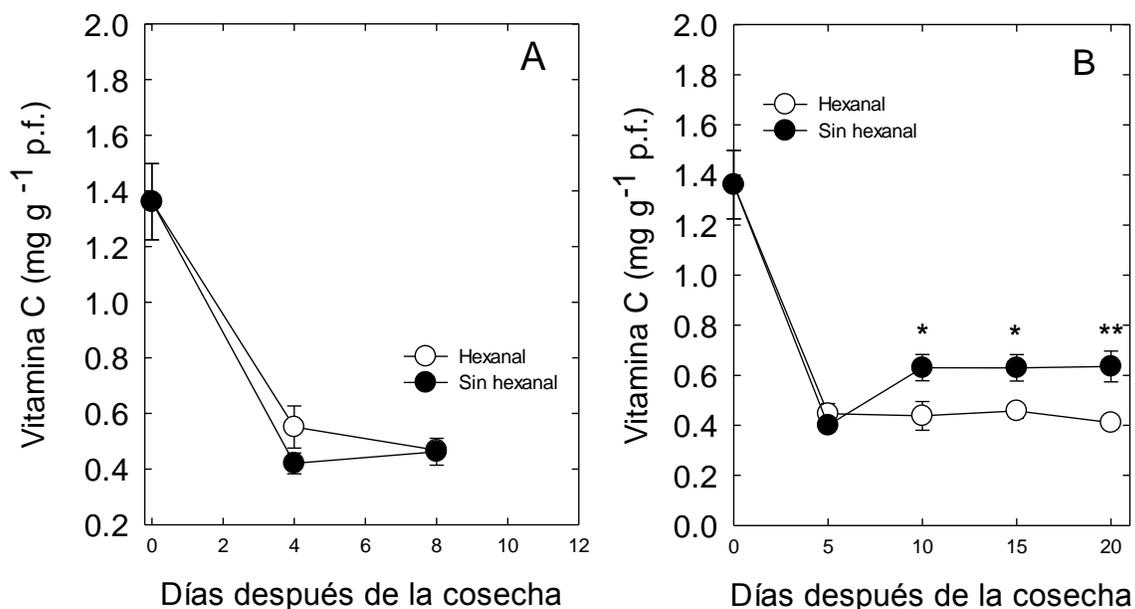


Figura 10. Cambios en el índice de sabor de frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente ( $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y refrigeración ( $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

## 5.9. Catalasa: actividad y actividad específica

La actividad de catalasa en los frutos almacenados a temperatura ambiente no se detectaron diferencias significativas entre los frutos donde se aplicó Hexanal y aquellos donde no se aplicó el Hexanal (Figura 11 A). Aunque en frutos donde se aplicó el Hexanal se observó la mayor actividad a los cuatro (Figura 11 A). En los frutos almacenados en refrigeración no se detectaron diferencias entre los frutos donde se aplicó el Hexanal y sin aplicar Hexanal durante los primeros 15 días (Figura 11 B), posteriormente los frutos donde se aplicó Hexanal la actividad de catalasa se incrementó significativamente en comparación de los frutos donde no se aplicó el Hexanal.

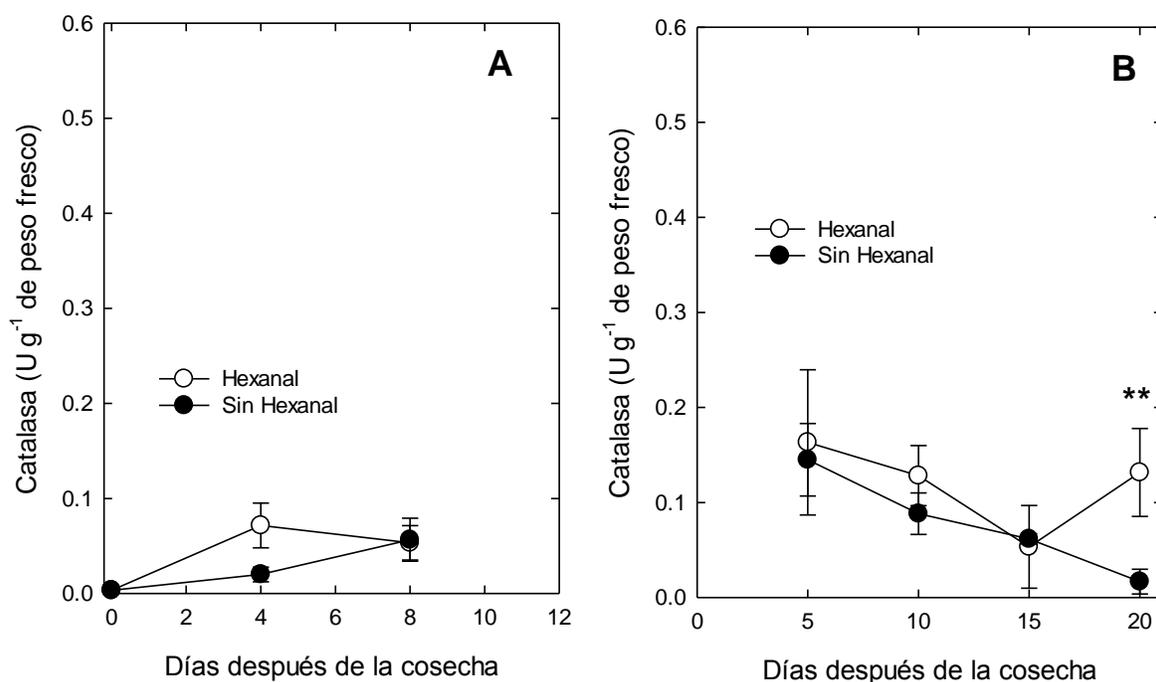


Figura 11. Cambios en la actividad de catalasa en frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

La actividad específica de catalasa en los frutos almacenados a temperatura ambiente se incrementó durante la maduración, fue similar los primeros cuatro días, ya en el octavo día de evaluación se observó mayor actividad en los frutos testigo (Figura 12 A). En los frutos refrigerados la actividad específica de catalasa disminuyó durante la maduración, aunque se observó que en el último muestreo la actividad específica de catalasa fue significativamente mayor en los frutos donde se aplicó Hexanal.

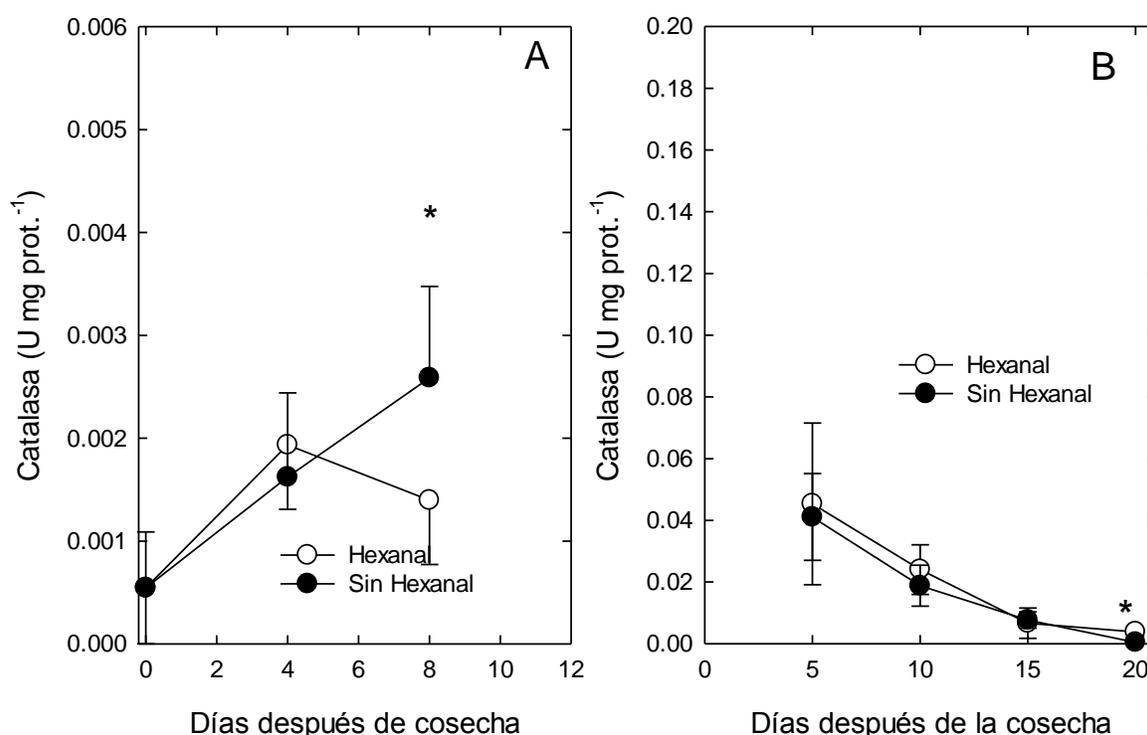


Figura 12 Cambios en la actividad específica de catalasa en frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

La actividad de catalasa en base seca y en base a proteína se incrementó en los frutos a temperatura ambiente, lo que sugiere que durante la maduración de la

chirimoya el peróxido de hidrogeno se mantuvo en niveles menores, ya que este radical es el sustrato de la enzima catalasa, la aplicación de Hexanal no afectó el comportamiento de esta enzima. Sin embargo, en refrigeración la actividad en base seca y en base a la proteína, mostró una disminución constante, lo que concuerda con Mondal et al. (2004) quienes indican que la actividad de catalasa disminuye en la maduración y senescencia de jitomate, ocasionando un mayor incremento de especies radicales de oxígeno y acelerando los procesos de maduración y senescencia. En el último muestreo se observó mayor actividad en los frutos donde se aplicó Hexanal, por lo que bajo esta condición la aplicación de este producto mantuvo por mas tiempo la actividad de esta enzima, mejorando la capacidad de retrasar en cierta medida la senescencia.

Estos resultados sugieren que a temperatura ambiente la actividad de catalasa se mantiene alta, pero durante la refrigeración dicha actividad disminuye considerablemente.

#### **5.10. Superóxido dismutasa (SOD): actividad y actividad específica**

La actividad de SOD en los frutos donde se aplicó Hexanal durante la maduración se incrementó significativamente de valores iniciales cercanos a 206 U mg prot.<sup>-1</sup> a valores de 478.5 U mg prot.<sup>-1</sup> a los cuatro días y posteriormente disminuyó hasta 254 U mg prot.<sup>-1</sup> (Figura 13 A). Los frutos donde no se aplicó Hexanal el incremento de la actividad de SOD fue constante alcanzado 254.9 y 381.1 U mg prot.<sup>-1</sup> a los 4 y 8 días durante la maduración (Figura 13 A).

En los frutos almacenados en refrigeración, se detectó que la actividad de SOD fue significativamente mayor en los frutos donde se aplicó Hexanal (entre 249.6 y 233.3 U mg prot.<sup>-1</sup>) que en los frutos donde no se aplicó Hexanal (entre 82.6 y 145.5 U mg prot.<sup>-1</sup>) durante los primeros 10 días (Figura 13 B), posteriormente la actividad de los frutos donde no se aplicó Hexanal se incrementó significativamente (entre 169.9 y 225.4 U mg prot.<sup>-1</sup>) y fue similar a los frutos donde se aplicó Hexanal (entre 233.3 y 299.3 U mg prot.<sup>-1</sup>; Figura 13 B).

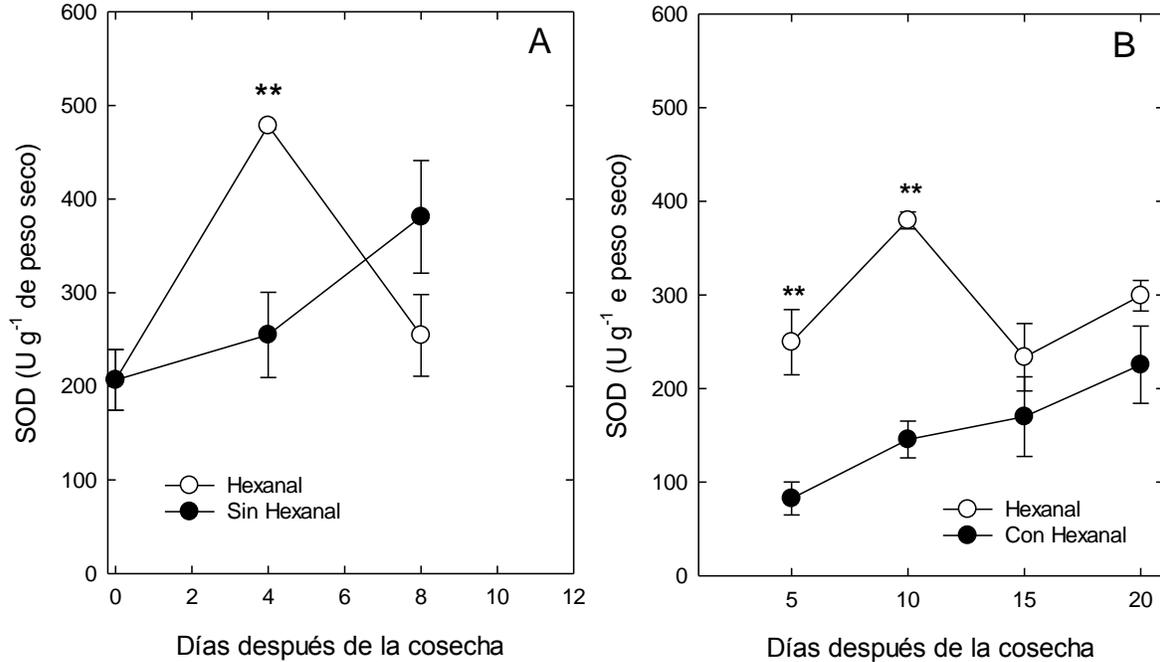


Figura 13. Cambios en la actividad de superóxido dismutasa en frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

La actividad específica de SOD no mostro diferencias significativas en los frutos almacenados a temperatura ambiente, independientemente si se aplicó o no Hexanal (Figura 14 A). En general la actividad de SOD disminuyó entre 70.4 y 82.8 % disminuyó constantemente durante los ocho días de evaluación (Figura 14 A).

En los frutos almacenados a baja temperatura la actividad de SOD fue significativamente mayor y mostró un comportamiento descendente, de valores de 56.5 U mg prot.<sup>-1</sup> a valores de 5.4 U mg prot.<sup>-1</sup> a los 20 días de evaluación (Figura 14 B). En tanto que los frutos donde se aplicó Hexanal la actividad especifica de SOD se mantuvo entre 7 y 16.8 U mg prot.<sup>-1</sup>, donde en el último muestreo fue

significativamente mayor que en los frutos donde no se aplicó el Hexanal (Figura 14 B).

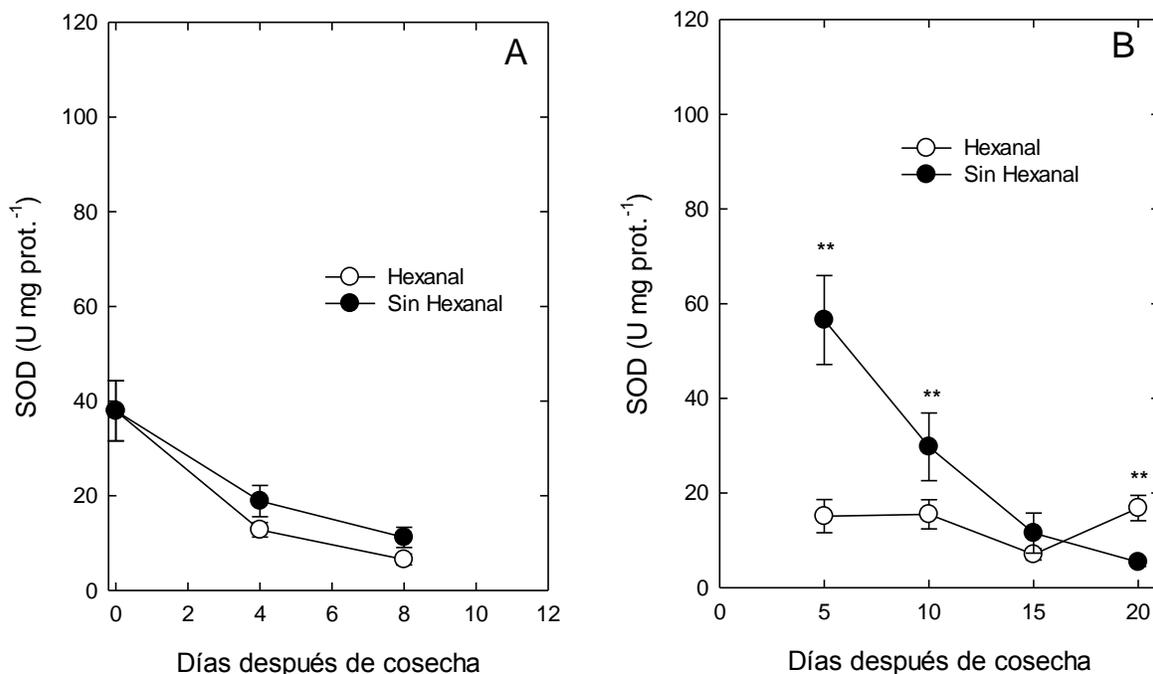


Figura 14. Cambios en la actividad específica de superóxido dismutasa en frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

La actividad de SOD en base seca se observó que se incrementa durante la maduración de los frutos almacenados a temperatura ambiente y en refrigeración y el Hexanal favorece una mayor actividad de la enzima. Sin embargo, la actividad en base a proteína se observa un comportamiento de incrementarse tanto a temperatura ambiente como en refrigeración, esto último coincide con Mondal et al. (2004) quienes indican que la actividad de SOD y catalasa disminuyen durante la maduración y senescencia de los frutos, lo que sugiere una mayor acumulación de

peróxido de hidrógeno. Este comportamiento es necesario para facilitar varios de los cambios metabólicos asociados con la maduración en frutos (Rogiers et al., 1998).

La actividad de SOD en base seca incrementó al aplicar Hexanal tanto a temperatura ambiente como en refrigeración, no así cuando se expresa en base a proteína donde solo en refrigeración la actividad de SOD se mantiene baja y constante durante la maduración, lo que sugiere y así se observó un mayor avance en el proceso de maduración. Padmanabhan y Paliyath (2019) indican que en cereza dulce la aplicación previa como aspersión o en postcosecha como vapor favoreció una mayor actividad de SOD, por lo que el mantener los sistemas antioxidantes activos ayudan a proteger y mantener los componentes celulares del daño oxidativo.

### **5.11. Proteína soluble**

La proteína soluble se incrementó durante la maduración tanto en los frutos almacenados a temperatura ambiente como en refrigeración, y los frutos donde se aplicó Hexanal mostraron la mayor concentración (Figura 15). En los frutos almacenados a temperatura ambiente la proteína se incremento de 5.6 a 35.36 mg g<sup>-1</sup> de peso seco a los ocho días, cuando no se aplicó Hexanal, en tanto que en los frutos donde se aplicó Hexanal se alcanzó hasta 40.7 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco, pero al cuarto día (Figura 15 A).

En los frutos en refrigeración donde se aplicó Hexanal la concentración de proteína fue mayor durante los primeros 15 días, entre 19.4 y 33.7 mg g<sup>-1</sup> de peso seco, posteriormente disminuyó a 19.9 mg g<sup>-1</sup> de peso seco (Figura 15 B). En los frutos donde no se aplicó el Hexanal la proteína se incrementó ligeramente los primeros 15 días, entre 4.7 y 11.12 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco, ya en el día 20 el incremento fue hasta 38.7 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco (Figura 15 B).

Misran y Jaafar (2019) indican que al almacenar frutos de tres variedades de kiwi a temperatura ambiente el contenido de proteína total se incrementa y se debe a que es necesario para hacer frente a los procesos bioquímicos que acompañan a la

maduración. El Hexanal como se observa ocasiono una aceleración de la síntesis de proteína en los frutos de chirimoya.

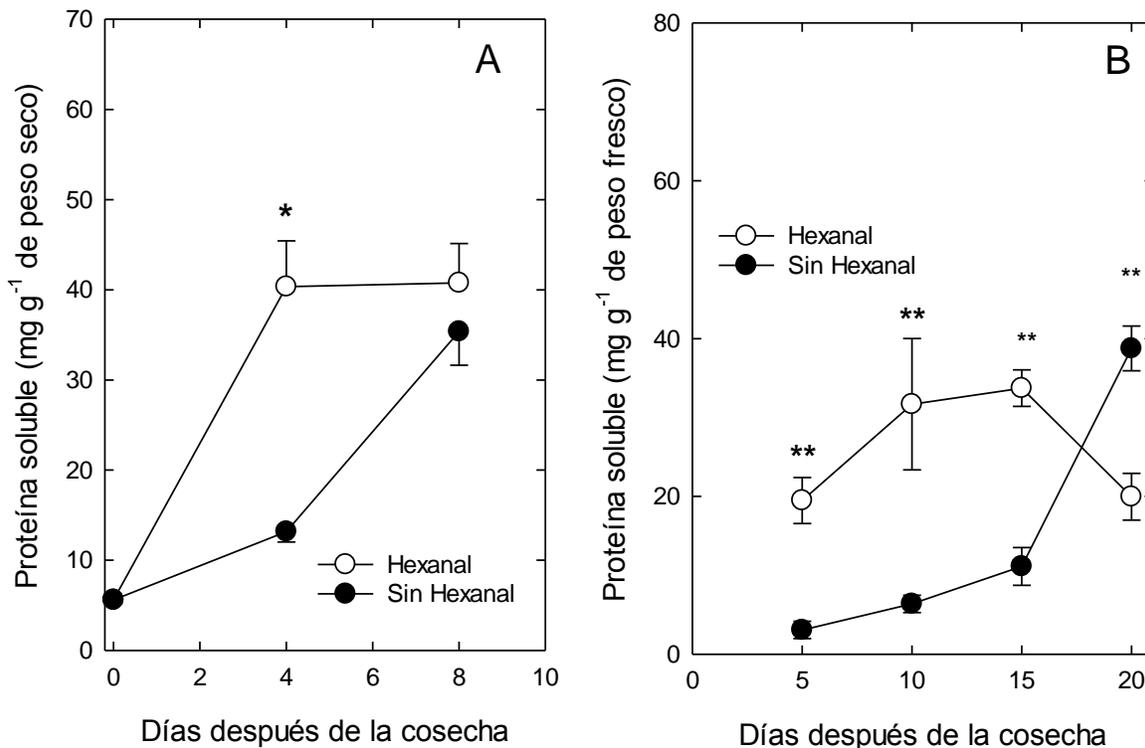


Figura 15. Cambios en la proteína soluble de frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

### 5.12. fuga de electrólitos

La fuga de electrolitos disminuyó en los frutos almacenados a temperatura ambiente, a los ocho días de evaluación se observó una mayor fuga en los frutos testigo (Figura 16 A). Por otra parte en los frutos almacenados a baja temperatura se

observo que la fuga de electrólitos se incrementó, con mayor evidencia en los frutos donde se aplicó Hexanal, sin embargo no se detectaron diferencias significativas con los frutos donde no se aplicó el Hexanal (Figura 16 B). La falta de significancia en los frutos almacenados a baja temperatura sugiere que no hubo daños por frío y que la temperatura de almacenamiento fue segura, y no hubo efecto del Hexanal a baja temperatura, no así en temperatura ambiente donde disminuyó la salida de electrólitos.

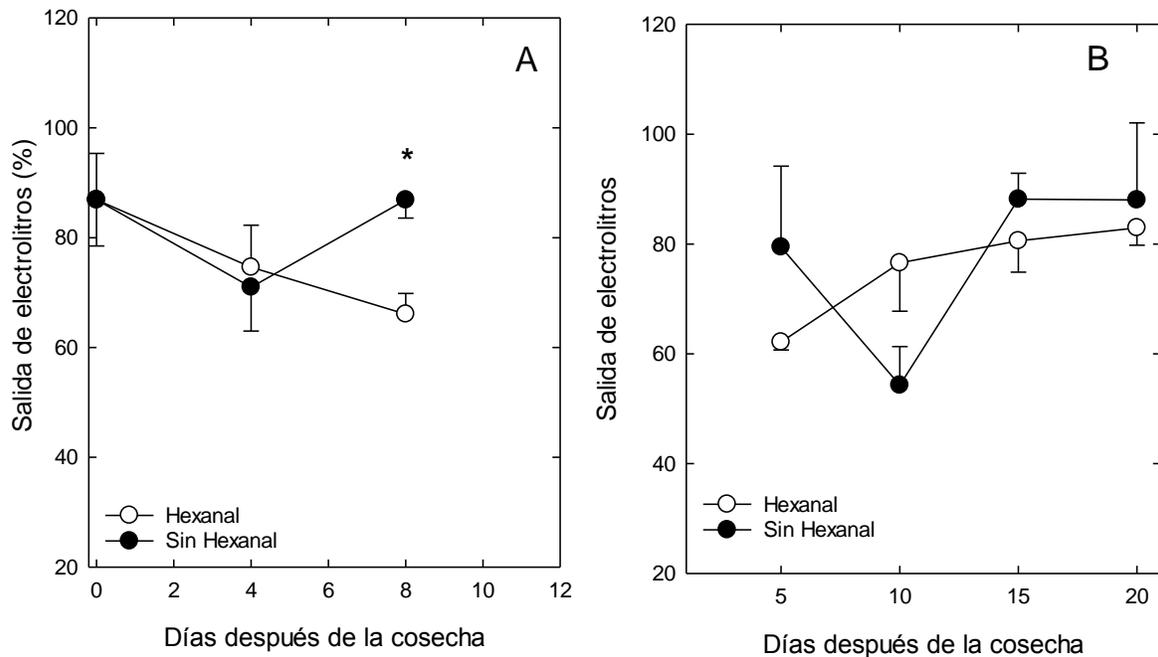


Figura 16. Cambios en la fuga de electrolitos de frutos de chirimoya previa aplicación de Hexanal o sin aplicación de Hexanal, almacenados a temperatura ambiente (22 °C) y refrigeración (12 °C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar. \* y \*\*: Significativo al 0.05 y 0.01 %, respectivamente de acuerdo a la prueba de t de student.

## **6. Conclusiones**

La aplicación de Hexanal en los frutos de chirimoya adelanto algunos parámetros de maduración como la respiración, la acidez titulable, la vitamina c y la actividad enzimática. No mostró efecto en variables como la pérdida de peso, matiz, firmeza, sólidos solubles totales. Mejoró la luminosidad y cromaticidad como parámetro del color. El escaso efecto del Hexanal sugieren evaluar distintas dosis y formas de aplicación y determinar su utilidad en incrementar la vida útil de chirimoya. La refrigeración a 15 °C de la chirimoya 'Cuadrada' es una opción para incrementar la vida útil del producto hasta por 20 días, ya que no se observó ni cuantificaron daños por frío.

## 7. Literatura citada

- Anaya-Esparza, L.M., M.V. Ramírez-Marez, E. Montalvo-González, J. A: Sánchez-Burgos. (2018). Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.). In: Fruit and Vegetables Phytochemicals: Chemistry and Human Health. V. II. John Wiley & Sons: UK.
- Blackwell R. D., A. J. S. Murray, P. J. Lea (1990) Enzymes of photorespiratory carbon pathway. In: Methods in Plant Biochemistry. P J Lea (ed). Academic Press. USA. pp:129-144.
- Berger, H & L. Galleti. (2005) Color as a harvest index in cherimoya. Acta Horticulturae 682: 1471-1474.
- Bradford, M. M. 1976. "A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding," Analytical Biochemistry, 72 (1-2): 248-254.
- Cordeiro, N., L. Sousa, N. Freitas & M. Gouveia. (2013). Changes in the mesocarp of *Annona Cherimola* Mill. 'Madeira' during postharvest ripening. Postharvest Biology and Technology 85: 179-184.
- Gutiérrez, M., J. M. Lahoz, M. M. Sola, L. Pascual & A. M. Vargas (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.
- Gullo, G., A. Dattola & R. Zappia. (2019). Comparative study of some fruit quality characteristics of two *Annona cherimola* Mill. Grown in southern Italy. IMS Agriculture and Food 4(3): 658-671.
- Jincy, M., M. Djanaguiraman, P. Jeyakumar, K.S. Subramanian, S. Jayasankar & G. Paliyath. 2017. Inhibition of phospholipase D enzyme activity through hexanal leads to delayed mango (*Mangifera indica* L.) fruit ripening through changes in oxidants and antioxidants and oxidant enzymes activity. Scientia Horticulturae 218: 316-325.

- Larranaga, N. F. J. Albertazzi, J. I. Hormaza. (2017). Phylogenetics of *Annona cherimola* (Annonaceae) and some of its closest relatives. *Journal of Systematics and Evolution* 57(3): 211-221.
- López, A. L. E. (2017). Aplicación de extractos naturales de *Vitis* para incrementar la vida postcosecha en chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. 44 p.
- Misran, A. & A. H. Jaafar (2019). Protein. In: *Postharvest Physiology and Biochemistry of fruits and Vegetables*. pp: 315-334. Elsevier: UK.
- Morton, J. *Fruits of Warm Climates*. Echo Points Books: EUA.
- Mondal, K., N. S. Sharma, S. P. Malhotra, K. Dhawan & R. Singh (2004) Antioxidants systems in ripening tomato fruits. *Biología Plantarum* 48(1): 49-53.
- 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.
- Padmanabhan, P & G. Paliyath (2019) Improving shelf-life and quality of sweet Cherry (*Prunus avium* L.) by preharvest application of hexanal compositions. In: *Postharvest Biology and Nanotechnology*. Paliyath, G., J. Subramanian, L-T., Lim, K.S. Subramanian, A. K. Handa & A. K. Matoo. (eds.). Wiley-Blackwell. pp: 237-242.
- Paliyath, G., P. Padmanabhan. 2019. Preharvest and postharvest technologies base don hexanal: an overview. In: *Postharvest Biology and Nanotechnology*. Paliyath, G., J. Subramanian, L-T., Lim, K.S. Subramanian, A. K. Handa & A. K. Matoo. (eds.). Wiley-Blackwell. pp: 89-101.
- Palma, T., J.M. Aguilera, D. W. Stanley. (1993). A review of postharvest events in chirimoya. *Postharvest Biology and Technology* 2: 187-208.

- Pareek, S., E. M. Yahia, O. P. Pareek & R. A. Kaushik. (2011). Postharvest physiology and technology of *Annona* fruits. *Food Research International* 44: 1741-1751.
- Paull, R. E. & O. Duarte. (2011). *Tropical Fruits*. V. 1. CABI: Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Rodríguez-Núñez, J.R., E. Campos-Rojas, J. Andrés-Agustín, I. Alía-Tejacal, S. Á. Ortega-Acosta, V. Peña-Caballero, T. J. Madera-Santana, C. A. Núñez-Colín. (2020). Distribution, ecoclimatic characterisation, and potential growing regions of *Annona cherimola* Mill (*Annonaceae*) in Mexico. *Ethnobiology and Conservation* 10:05.
- Rodríguez-Verastegui, L.L., J. Osorio-Córdoba, León-Sánchez, D. de, C, Pelayo-Zaldívar, D. M. Díaz-Pontones, E. Bosquez-Molina, G. J. Márquez-Guzmán, H. B. Escalona-Buendía, J. R. Verde-Calro, L. J. Pérez-Flores. (2015). Biochemical and visual changes in cactus stems (*Opuntia ficus-Indica* Mill.) stored at 4, 12 and 26 °C. *Journal of Food Quality* 39: 449-461.
- Rogiers, S. Y., G. N. M. Kumar & N. R. Knowles (1998) Maturation and ripening of fruit of *Amelanicher alnifolia* Nutt. are accompanied by increasing oxidative stress. *Annals of Botany* 81: 203-211.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020) Cierre de la producción agrícola 2019 (México). [<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>] Accessed 10 August 2020.
- Silva, T.L. da, E. Aguilar-Oliveira, M. R. Mazalli, E. S. Kamimura, R. R. Maldonado. 2017. Comparison between titrimetric and spectrometric methods for quantification of vitamin C. *Food Chemistry* 224: 92-96.
- Thompson, A. K. (2015). *Fruit and Vegetables. Harvesting, Handling and Storage*. Wiley Blackwell: UK.
- Valero, D. & M. Serrano (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC Press: USA.

Wills, R. & J. Golding (2016). Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. CABI: Australia.

Yahia, E. M. (2020). General recommendations. In: Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities, Yahia, E. m. (ed.). pp: 709-719. Woodhead Publishing: UK.

Zainalabidin, F. A., M.S. Sagrin, W. N. Azmi & A. S. Ghazali. (2019). Optimum postharvest handling-effect of temperature on quality and shelf life of tropical fruits and vegetables. J. Trop. Resour. Sustain Sci. 7: 23-30.



Cuernavaca, Morelos, 19 de febrero del 2021

**MTRA. CLAUDIA GILES SÁMANO**  
**JEFATURA DEL PE DE IAH / IH**  
**DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**PRESENTE**

En respuesta al oficio con fecha 04 de febrero del 2021, donde se me nombra miembro del jurado calificador del trabajo de tesis denominado: **EVALUACIÓN DE HEXANAL COMO RETARDADOR DE LA SENESCENCIA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* L.)**.

Que presenta el **C. LUIS ANTONIO MARTÍNEZ FLORES**, pasante de la carrera de Ingeniero Hortícola, bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JOSÉ ORLANDO JIMÉNEZ ZURITA**, le comunico que el documento lo considero **APROBADO.**

Sin más por el momento, agradezco de antemano su valiosa colaboración y aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente  
***Por una humanidad culta***

Se adiciona página con la e-firma UAEM  
PITC de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

**DR. IRAN ALIA TEJACAL**

C.e. – Archivo.



Cuernavaca, Morelos, 19 de febrero del 2021

**MTRA. CLAUDIA GILES SÁMANO**  
**JEFATURA DEL PE DE IAH / IH**  
**DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**PRESENTE**

En respuesta al oficio con fecha 04 de febrero del 2021, donde se me nombra miembro del jurado calificador del trabajo de tesis denominado: **EVALUACIÓN DE HEXANAL COMO RETARDADOR DE LA SENESCENCIA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* L.)**.

Que presenta el **C. LUIS ANTONIO MARTÍNEZ FLORES**, pasante de la carrera de Ingeniero Hortícola, bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JOSÉ ORLANDO JIMÉNEZ ZURITA**, le comunico que el documento lo considero **APROBADO.**

Sin más por el momento, agradezco de antemano su valiosa colaboración y aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente  
***Por una humanidad culta***

Se adiciona página con la e-firma UAEM  
del Investigador Invitado  
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

**DR. JUAN EMILIO ÁLVAREZ VARGAS**

C.e. – Archivo.



Cuernavaca, Morelos, 19 de febrero del 2021

**MTRA. CLAUDIA GILES SÁMANO**  
**JEFATURA DEL PE DE IAH / IH**  
**DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**PRESENTE**

En respuesta al oficio con fecha 04 de febrero del 2021, donde se me nombra miembro del jurado calificador del trabajo de tesis denominado: **EVALUACIÓN DE HEXANAL COMO RETARDADOR DE LA SENESCENCIA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* L.)**.

Que presenta el **C. LUIS ANTONIO MARTÍNEZ FLORES**, pasante de la carrera de Ingeniero Hortícola, bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JOSÉ ORLANDO JIMÉNEZ ZURITA**, le comunico que el documento lo considero **APROBADO**.

Sin más por el momento, agradezco de antemano su valiosa colaboración y aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*

Se adiciona página con la e-firma UAEM  
del PTP de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

**DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS**

C.e. – Archivo.



Cuernavaca, Morelos, 19 de febrero del 2021

**MTRA. CLAUDIA GILES SÁMANO**  
**JEFATURA DEL PE DE IAH / IH**  
**DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**PRESENTE**

En respuesta al oficio con fecha 04 de febrero del 2021, donde se me nombra miembro del jurado calificador del trabajo de tesis denominado: **EVALUACIÓN DE HEXANAL COMO RETARDADOR DE LA SENESCENCIA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* L.)**.

Que presenta el **C. LUIS ANTONIO MARTÍNEZ FLORES**, pasante de la carrera de Ingeniero Hortícola, bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JOSÉ ORLANDO JIMÉNEZ ZURITA**, le comunico que el documento lo considero **APROBADO**.

Sin más por el momento, agradezco de antemano su valiosa colaboración y aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente  
***Por una humanidad culta***

Se adiciona página con la e-firma UAEM  
del TATC de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

**M. en C. ALYN MARIANA PALACIOS SOSA**

C.e. – Archivo.



Cuernavaca, Morelos, 19 de febrero del 2021

**MTRA. CLAUDIA GILES SÁMANO**  
**JEFATURA DEL PE DE IAH / IH**  
**DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**PRESENTE**

En respuesta al oficio con fecha 04 de febrero del 2021, donde se me nombra miembro del jurado calificador del trabajo de tesis denominado: **EVALUACIÓN DE HEXANAL COMO RETARDADOR DE LA SENESCENCIA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* L.)**.

Que presenta el **C. LUIS ANTONIO MARTÍNEZ FLORES**, pasante de la carrera de Ingeniero Hortícola, bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. JOSÉ ORLANDO JIMÉNEZ ZURITA**, le comunico que el documento lo considero **APROBADO**.

Sin más por el momento, agradezco de antemano su valiosa colaboración y aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente  
***Por una humanidad culta***

Se adiciona página con la e-firma UAEM  
del estudiante de Doctorado Invitado  
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

**M. en C. OLIVER MONARRES CUEVAS**

C.e. – Archivo.