



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES.

TRATAMIENTOS PARA PRESERVAR LA CALIDAD  
POSCOSECHA EN FRUTOS DE ANONÁCEAS.

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS  
NATURALES.

PRESENTA:

JUAN SALOMON CASTAÑO

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Mayo, 2020.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TRATAMIENTOS PARA PRESERVAR LA CALIDAD  
POSCOSECHA EN FRUTOS DE ANONÁCEAS

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS  
NATURALES

PRESENTA:

JUAN SALOMON CASTAÑO

COMITÉ DE TUTORES:

Dr. Omar Franco Mora Tutor académico.  
Dr. Álvaro Castañeda Vildózola Tutor adjunto.  
Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes Tutor adjunto.

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Junio, 2020.



La presente tesis titulada **“TRATAMIENTOS PARA PRESERVAR LA CALIDAD POSCOSECHA EN FRUTOS DE ANONACEAS”** fue realizada por: Juan Salomon Castaño y forma parte del proyecto: “Aprovechamiento del germoplasma, desarrollo tecnológico e innovación en cadenas de valor de anonáceas en México SAGARPA-CONACYT”, ha sido revisada y aprobada por el siguiente comité académico, para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Tutor académico

Dr. Omar Franco Mora \_\_\_\_\_

Tutor adjunto

Dra. Álvaro Castañeda Vildózola \_\_\_\_\_

Tutor adjunto

Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes \_\_\_\_\_

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Junio, 2020.





## TENIDO

<i>DEDICATORIAS</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
AGRADECIMIENTOS .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xvi
I. INTRODUCCIÓN. ....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Familia Anonácea. ....	4
2.1.1. Especies económicamente importantes. ....	5
2.2. Desarrollo del fruto.....	10
2.2.1. Amarre y crecimiento .....	11
2.2.2. Maduración.....	11
2.3. Principales cambios en la maduración.....	14
2.3.1. Cambios físicos.....	14
2.3.2. Cambios bioquímicos.....	17
2.3.3. Cambios fisiológicos.....	19
2.4. Tecnologías en poscosecha.....	22
2.4.1. Refrigeración. ....	22
2.4.2. Atmósferas modificadas.....	23
2.4.3. Atmósferas controladas.....	23
2.4.4. Resveratrol. ....	26
2.4.5. 6-Bencil aminopurina (BAP).....	26
2.4.7. Tratamientos térmicos. ....	29
2.4.8. Tratamientos con radiación UV,.....	30

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. Material vegetal.....	31
3.1.1. Chirimoya.....	31
3.1.2. Guanábana.....	31
3.1.3. Ilama.....	32
4.1. Improve of the preharvest application of resveratrol and 6-benzylaminopurine technique to reduce postharvest cherimoya fruit softness. .	34
Abstract.....	34
4.1.1. Introduction.....	35
4.1.2. Materials and methods.....	37
4.1.3. Results and discussion.....	38
4.1.4. Conclusions.....	44
4.2. Resveratrol y 6-bencil aminopurina reducen la pérdida de firmeza y color en poscosecha de guanábana ( <i>Annona muricata</i> L.).....	45
Resumen.....	45
Abstract.....	46
4.2.1. Introducción.....	46
4.2.2. Materiales y métodos.....	49
4.2.3. Resultados y discusión.....	51
4.2.4. Conclusiones.....	61
4.3. Conservación de la calidad poscosecha de ilama ( <i>Annona diversifolia</i> Saff.) mediante un recubrimiento comestible.....	63
Resumen.....	63
4.3.1 Introducción.....	64
4.3.2. Materiales y métodos.....	66
4.3.3. Resultados y discusión.....	69
4.3.4. Conclusiones.....	83
V. CONCLUSIONES GENERALES .....	84
VI. LITERATURA CITADA.....	85
VII. ANEXOS.....	101

7.1. Anexo 1.....	101
7.2. Anexo 2.....	102
7.3. Anexo 3. Frutos de chirimoya a los 11 días de almacenamiento. ....	103
7.4. Anexo 4. Frutos de guanábana a los 11 días de almacenamiento.....	104
7.5. Anexo 5. Frutos de ilama a los 11 días de almacenamiento bajo 3 temperaturas. .....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1. Fruit firmness in 'Bays' cherimoya sprayed in preharvest with 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine (RVS-BAP) or tap water .....	41
Figure 1. Fruit firmness in 'Bays' cherimoya sprayed in preharvest with 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine (RVS-BAP) or tap water (Ck) and harvested 8, 15 or 30 days after treatment application.....	39
Figure 2. Fruit weight in 'Bays' cherimoya sprayed in preharvest with 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine (RVS-BAP) or tap water (Ck) and harvested 8, 15 or 30 days after treatment application.....	40
Figure 3. Kinetic of factor L of peel color in 'Bays' cherimoya sprayed in preharvest with 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine (RVS-BAP) or tap water (Ck) and harvested 8, 15 or 30 days after treatment application.....	42
Figure 4. Kinetic of Total Soluble Solids (°B) in 'Bays' cherimoya sprayed in preharvest with 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine (RVS-BAP) or tap water (Ck) and harvested 8, 15 or 30 days after treatment application .....	43
Figura 5. Cinética de la firmeza de cáscara en poscosecha de frutos de guanábana con aplicación precosecha simultánea de 1.6 mM resveratrol y 1.0 mM 6-bencil amino purina y almacenamiento a 18°C ± 2.....	53
Figura 6. Cinética del contenido de compuestos fenólicos en poscosecha de frutos de guanábana con aplicación precosecha simultánea de 1.6 mM de resveratrol (RVS) y 1.0 mM de 6-bencil amino purina (BAP) y almacenamiento a 18°C ± 2 ..	59

Figura 7. Cinética de los sólidos solubles totales en poscosecha de frutos de guanábana con aplicación precosecha simultánea de resveratrol (RVS) y 6-bencil amino purina (BAP) y almacenamiento a $18^{\circ}\text{C} \pm 2$ .....	61
Figura 8. Pérdida de peso en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas.....	70
Figura 9. Acidez titulable en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas.....	72
Figura 10. Firmeza de cáscara en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas.....	74
Figura 11. Firmeza de pulpa en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas.....	76
Figura 12. Índice de color (IC) en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas.....	78
Figura 13. Sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas .....	80
Figura 14. Respiración en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas.....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas e índice de color en frutos de guanábana tratados en precosecha con 1.6 mM de resveratrol (RVS) y 1.0 mM de 6-bencil amino purina (BAP) durante almacenamiento poscosecha a de 18°C ± 2. ....	55
--	----

# TRATAMIENTOS PARA PRESERVAR LA CALIDAD POSCOSECHA EN FRUTOS DE ANONACEAS<sup>1</sup>.

**Juan Salomon Castaño**

<sup>1</sup> Investigación presentada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Director de tesis: Dr. Omar Franco Mora, Laboratorio de Horticultura, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEMéx, ofrancom@uamex.mx. Tutor adjunto: Dr. Álvaro Castañeda Vildózola, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEMéx. Tutor adjunto: Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Chiapas.

## RESUMEN

Los frutos del género *Annona* son consumidos en fresco, en productos semi-procesados y procesados. Son ricos en vitamina C, minerales, agua y carbohidratos; además, poseen aplicaciones potencialmente medicinales y nutracéuticas. Dichos frutos presentan comportamiento climatérico que conlleva la pronta pérdida de calidad que acorta su vida poscosecha. En este reporte se presentan trabajos realizados en chirimoya (*Annona cherimolla* Mill) y guanábana (*A. muricata* L.), a frutos de dichas especies se aplicó en precosecha una solución de 1.6 mM de resveratrol (RVS) y 1.0 mM de 6-bencil amino purina (BAP). Por otro lado, se evaluó el efecto de un recubrimiento comestible para conservar la calidad poscosecha en frutos de ilama (*A. diversifolia* Saf.).

En guanábana, el tratamiento con RVS y BAP permitió que los frutos tuvieran 3 días más en anaquel que el control. Al día 5 de almacenamiento, a temperatura

ambiente?, la firmeza descendió 30% en frutos tratados y 76% en frutos control. Los componentes del color mostraron diferencias significativas a los 5 y 8 días de almacenamiento.

Para chirimoya, los frutos se cosecharon a los 8,15 y 30 días después de la aplicación; a la cosecha, los frutos tratados 8 y 15 días antes de la cosecha presentaron 30% más firmeza en relación con frutos control; mientras que los frutos cosechados 30 días posteriores a la aplicación aumentaron 100% su firmeza en relación al control. En general, los frutos de chirimoya tratados con RVS y BAP presentaron mayor firmeza durante los 15 días de almacenamiento.

En ilama, los frutos con recubrimiento y preservados en congelación mantuvieron las características de calidad de los frutos ( $p \leq 0.05$ ) por 13 días. Particularmente en congelación, el peso en frutos cubiertos y frutos control se mantuvo desde la cosecha; en refrigeración se mantuvo 94% del peso en los frutos cubiertos y el 74% del peso en frutos control. Para firmeza de cáscara los frutos cubiertos y los frutos control mantuvieron 100% de la firmeza durante los 13 días de almacenamiento a  $-20^{\circ}\text{C}$ . En almacenamiento a temperatura ambiente, al día 4 la pérdida fue de 93% en el control y 28% los frutos cubiertos. La firmeza de la pulpa, en congelación se mantuvo hasta final de la evaluación (44.6 N). Al día 4 en almacenamiento a temperatura ambiente, los frutos control disminuyeron 80% y los frutos recubiertos 59% de su firmeza inicial. Para índice de color (IC), los frutos en congelación más recubrimiento preservaron esta variable por mayor tiempo. Contrario a esto, el control aumentó de -10.7 a 28.2 unidades en este mismo lapso, lo que se observó en la pérdida de coloración verde. Para contenido de sólidos solubles totales, los frutos sin recubrir almacenados en ambiente registraron  $24.8^{\circ}\text{Bx}$  y los cubiertos

22.9°Bx al día 4 de almacenamiento. En refrigeración los frutos sin recubrir 23.2°Bx y 21.4°Bx los frutos cubiertos. Para congelación al finalizar el almacenamiento, los frutos sin recubrir presentaron 15.6°Bx y 15.8°Bx los frutos con cubierta. Para la tasa de respiración, los frutos en congelación presentaron dos puntos máximos de respiración de 17.2 y 17.6 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> al día 3 y al día 9 de almacenamiento. En refrigeración, la cáscara se lignificó y oscureció, sin embargo los recubiertos preservan la calidad en la pulpa a diferencia del control. En almacenamiento a temperatura ambiente, los frutos recubiertos, conservaron sus características organolépticas por más días (7) que los frutos control (3).

**Palabras clave:** climatérico, calidad, poscosecha, almacenamiento.

# TREATMENTS FOR PRESERVING POSTHARVEST FRUIT QUALITY

## ANNONACEAE FRUITS

### ABSTRACT

**Juan Salomon Castaño.**

Thesis submitted as partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor in Sciences. Academic supervisor Prof. Omar Franco Mora, Ph. D., Laboratory of Horticulture, Faculty of Agriculture. UAEM. Supervisory committee members, Prof. Álvaro Castaneda Vildózola. UAEM and Prof. Juan Manuel Villarreal Fuentes. UACH.

The fruits of the genus *Annona* are consumed in fresh or semi-processed and processed products. Fruits are rich in vitamin C, minerals, water and carbohydrates, and they also have potentially medicinal and nutraceutical applications. Those fruits have climacteric behavior that promotes rapid loss of quality, thus reducing their postharvest life. This report presents some works carried out in cherimoya (*Annona cherimolla* Mill) and soursop (*A. muricata* L.), in fruits of those species a solution of 1.6 mM of resveratrol (RVS) and 1.0 mM of 6-benzyl amino purine (BAP) was applied in pre-harvest on tree. On the other hand, in ilama (*A. diversifolia* Saf.) it was observed the postharvest effect of an edible coating stored at three different temperatures.

In soursop, the treatment with RVS and BAP allowed the fruits to have 3 days more in storage, at room temperature, than the control fruits. On day 5 of storage, the fruit firmness decreased 30% in treated fruits and 76% in control fruits. Color components showed significant differences at 5 and 8 days of storage.

For chirimoya, the fruits were harvested at 8, 15 and 30 days after application; at harvest, the fruits harvested 8 and 15 days after spraying showed more firmness (30%) than control fruits. In addition, fruits harvested 30 days after application increased their firmness 100% in relation to control. In general, the cherimoya fruits treated with RVS and BAP showed greater firmness during the 15 days of storage.

In ilama, the fruits coated and preserved in freezing maintained the quality characteristics of the fruits ( $p \leq 0.05$ ) for 13 days. Particularly in freezing, the weight was kept since harvest; in refrigeration it was kept 94% in the coated fruit and 74% in the uncoated ones. For peel firmness, frozen fruits maintained 100% firmness during the 13 days. In room temperature on day 4, the weight loss was 93% in uncoated and 28% in coated fruits. The firmness of the pulp in frozen fruits was maintained till the end of the evaluation (44.6 N). On day 4 at room temperature, uncoated fruit decreased firmness 80% and coated fruit decreased 59%. For color index (CI), the coated and frozen fruit preserved this variable for a longer time. Contrary, control fruits increased from -10.7 to 28.2 units in this same period, resulted in loss of green coloration. For total soluble solids, the uncoated and room temperature stored fruits registered 24.8 ° Bx and the coated ones 22.9 ° Bx at day 4 in storage. Under refrigeration, the uncoated fruit presented 23.2 ° Bx and 21.4 ° Bx the coated ones. For freezing, at the end of the storage, coated fruit registered 15.6 ° Bx whereas the total soluble solids in uncoated fruits were 15.8 ° Bx. For respiration, the frozen fruit showed two maximum respiration peaks of 17.2 and 17.6 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> on day 3 and on day 9, respectively. Under refrigeration, the peel lignified and became dark, however coatings preserve the quality of the pulp as

opposed to the control. At room temperature, the coated fruits kept their organoleptic characteristics for more days (7) than the control fruits (3).

**Keywords:** climacteric, quality, postharvest, storage.

## I. INTRODUCCIÓN.

La familia Annonaceae se encuentra distribuida en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo y está compuesta por alrededor de 130 géneros y entre 2,300 - 2,500 especies. Los cuatros géneros de mayor importancia económica en esta familia, por su calidad frutícola y potencial farmacéutico, son *Rollinia*, *Uvaria*, *Asimina* y *Annona*. Este último es uno de los más grandes de la familia con poco más de 200 especies, algunas cultivadas como frutales, distribuidas en las zonas tropicales de todo el mundo. Las especies económicamente más importantes de este género son *Annona cherimola* Mill., *Annona muricata* L., *Annona squamosa* L., *Annona reticulata* L. y la atemoya, el cual es un híbrido entre *A. cherimola* × *A. squamosa*. Los frutos de estas especies son consumidos en fresco, en productos semi-procesados y procesados; además poseen aplicaciones potencialmente medicinales y nutraceuticas.

Por su naturaleza climatérica, la respiración en estos frutos puede tener comportamiento mono o bifásico que puede llegar a producir hasta  $350 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  a 25-30 °C en algunas especies y 46.2 y 68.5  $\text{mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  de etileno. Como resultado de este comportamiento, se observa pérdida excesiva de la firmeza en la pulpa y cáscara, así como, oscurecimiento de la misma, dificultando su manejo postrecolección reduciendo significativamente su vida de anaquel.

Por otro lado, en la búsqueda de alternativas para prolongar la vida poscosecha de productos hortícolas se ha empleado la aplicación de 6-bencil amino purina (BAP) que promueve división y elongación celular. Asimismo, el resveratrol (RVS) incrementa la calidad sensorial, vida de almacenamiento y calidad nutricional en

frutos de manzana (*Malus domestica* Borkh.) , aguacate (*Persea americana* Mill.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), fresa (*Fragaria × ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier) y uva (*Vitis vinifera* L.). En chirimoya cultivares 'Fino de Jete' y 'Bronceada' redujo la tasa de ablandamiento durante 15 días de almacenamiento. Mientras que en chirimoya, la aplicación simultanea de estos biorreguladores redujo la pérdida de color, firmeza y peso durante el mismo periodo. Otra alternativa para la preservación poscosecha de la calidad en productos frescos son los recubrimientos comestibles a base de polímeros naturales biodegradables que permiten ofrecer alimentos naturales, seguros y saludables. Estos, actúan como barrera al oxígeno, dióxido de carbono y etileno, reducen la transpiración, disminuyen los daños mecánicos, procesos oxidativos y daños causados por microorganismos en frutas y hortalizas.

La cadena de frío es una alternativa para preservar la calidad en productos frescos; sin embargo, los frutos del género *Annona* al ser almacenados a bajas temperaturas pueden presentar daños por frío. Los límites de almacenamiento se encuentran entre los 15 a 7 °C dependiendo de la especie. La refrigeración retarda los procesos metabólicos en la respiración y maduración, modulando los cambios fisiológicos y bioquímicos durante la etapa poscosecha. La temperatura, humedad relativa y composición atmosférica son factores que determinan la velocidad con la que ocurre la pérdida de calidad en la etapa poscosecha, principalmente observado en apariencia, color, olor, sabor, tamaño, forma, textura, contenido de azúcares y de ácidos. Por tales motivos, se estableció el siguiente objetivo general: Evaluar tratamientos pre y poscosecha para incrementar la vida poscosecha en frutos de anonáceas. Y se propusieron los objetivos particulares: 1) Validar de manera

comercial la aplicación de una solución de 1.6 mM de resveratrol y 1.0 mM de 6-bencil amino purina aplicado a todos los frutos de una huerta de árboles de chirimoya.

2) Determinar el efecto en la pérdida de firmeza y cambios de color en frutos de guanábana por la aplicación precosecha simultánea de 1.6 mM de resveratrol y 1.0 mM de 6-bencil amino purina.

3) Evaluar el empleo de un recubrimiento comestible para conservar la calidad poscosecha en frutos de ilama bajo tres temperaturas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA.

### 2.1. Familia Anonácea.

La familia Anonácea es la más diversa en géneros dentro de las magnoliales y la tercera más rica en especies. Su distribución abarca las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo (con excepción del género *Asimina* nativo de Estados Unidos). Las anonáceas son parte importante de la composición florística de muchos bosques tropicales de tierras bajas (Ortiz *et al.* 2015) incluyendo árboles y arbustos, que se encuentran en casi todos los tipos de vegetación. La familia se compone de alrededor de 130 géneros y se estima entre 2,300 - 2,500 especies en todo el mundo (Andrés y Andrés, 2011) las cuales son morfológicamente muy diversas, y representan parte significativa de la diversidad vegetal, tanto en términos de números de especies e individuos.

Los géneros con mayor número de especies son *Guatteria* (254 especies), *Annona* (166 especies), *Uvaria* (113 especies) y *Xylopia* (109 especies) (The Plant List, 2013). Dentro de esta familia, los cuatro géneros de mayor importancia económica, por su calidad frutícola y potencial farmacéutico, son *Annona*, *Rollinia*, *Uvaria* y *Asimina*. El género *Annona* es uno de los más grandes de la familia con poco más de 200 especies. Las anonas, por lo general, son árboles o arbustos que producen frutos carnosos o suculentos, cuyo nombre botánico es polidrupa (Cruz *et al.*, 2004) y por lo general se desarrollan en clima tropical. La mayoría de sus representantes se distribuye en los trópicos de América y África. Algunas especies de *Annona* se cultivan como frutales y están ampliamente distribuidas en las zonas tropicales de

todo el mundo; entre ellas se encuentran *A. cherimola*, *A. muricata*, *A. squamosa*, *A. reticulata* y la atemoya (Pinto *et al.*, 2005).

### **2.1.1. Especies económicamente importantes.**

#### **2.1.1.1 *Annona squamosa* L.**

El saramuyo (*Annona squamosa*) se encuentra ampliamente distribuida en todo el mundo. Es originario de Centroamérica y las Antillas, desde donde se distribuyó a México y la América tropical (González, 1984; León, 1989). Presenta frutos de los más dulces dentro del género y con mayor contenido de vitamina C (FAO, 1990). Es común de zonas tropicales y subtropicales de América, como en el Caribe (Puerto Rico y Cuba), y es común en Perú, Venezuela y Brasil. Suele ser cultivado también en algunas zonas del sur de los Estados Unidos, específicamente en el estado de Florida (Hernández *et al.*, 2011). Sus frutos tienen pulpa blanca, amarillo-crema o roja, es comestible, dulce y nutritiva. Las envolturas seminales son medianamente gruesas, con paredes fibrosas, resistentes y duras. Presenta numerosas semillas, cuyo endospermo es blanquecino, de textura medianamente dura y ligeramente aceitoso (Leon, 1989; Crane *et al.*, 2010). Es una de las especies exóticas tropicales con alto potencial de producción y comercialización debido a la excelente calidad organoléptica, nutricional y nutracéutica de sus frutos (Cordeiro y Pinto, 2005).

La forma del fruto varía de redonda a oval o acorazonada, peso entre 150 a 300 g, cáscara verde-opaco y carpelos prominentes (León, 1989). Los frutos suelen ser cosechados en madurez fisiológica considerando como índice de cosecha el cambio de color de la cáscara y forma de las escamas del fruto, misma que se alcanza entre

las 15 a las 17 semanas después de la polinización (De Andrade *et al.*, 2005). Otra forma de determinar el índice de cosecha es mediante el empleo de la técnica de polinización artificial, considerando que en promedio los frutos tardan entre 110 y 120 días desde la floración hasta la madurez de cosecha (Cogez y Liannaz, 1996). Su consumo principalmente es en fresco, presenta alto contenido nutrimental recomendado para niños y ancianos. Puede ser utilizado en la repostería y en la elaboración de jugos, dulces, vinos, helados y bebidas alcohólicas y otras bebidas (Navarro, 2001). Tiene una vida de anaquel muy corta a temperatura ambiente debido a su rápida maduración. Al igual que todos los frutos del género *Annona* presenta comportamiento climatérico, con alta tasa de respiración y elevada producción de etileno (Prasanna *et al.*, 2000). El rápido ablandamiento de la fruta es el factor principal que reduce la calidad y comercialización del fruto (Benassil *et al.*, 2003). Existe información escasa sobre el comportamiento poscosecha de estos frutos por lo que es necesario continuar trabajos de investigación para entender este comportamiento con el fin de aprovechar el potencial comercial de estos frutos en fresco o procesados. Para lo cual es necesario establecer programas de selección de germoplasma para identificar materiales sobresalientes en producción, comportamiento fisiológico poscosecha y calidad de fruto (Bolívar *et al.*, 2009).

#### **2.1.1.2. *Annona cherimola* Mill.**

La chirimoya (*Annona cherimola*) es un árbol caducifolio de origen subtropical cuyo nombre parece derivarse de 'chirimuya' que en quechua significa 'semilla fría'. Esto se refiere a la región andina donde está presente esta especie, que es relativamente

fría comparada con las regiones donde están presentes el resto de las especies de *Annona*. Es difícil, por la abundancia de anonas en muchos países de Centro y Suramérica, fijar con exactitud el lugar de origen de esta especie y siempre se ha señalado que es originaria de América del Sur, pero en los últimos años hay investigadores europeos que ubican su origen en Mesoamérica. Algunos autores concuerdan con que el origen de la chirimoya se encuentra en la región montañosa del Sur del Ecuador y del Norte del Perú debido a que constituye al menos un “punto de máxima diversidad” de este fruto. Otros, sin embargo, sugieren que el origen del chirimoyo estaría en Mesoamérica y que fue introducido por comerciantes preincaicos en el Sur del Ecuador y en el Norte de Perú donde la especie sufrió una segunda diversificación. Está adaptada a condiciones tropicales y subtropicales, el resto de las anonas solo pueden lograr crecimiento más eficiente en condiciones tropicales. Actualmente, el chirimoyo está presente en sitios naturales o en huertos semi-domesticados en los valles interandinos de Ecuador, Perú y Bolivia. Sin embargo, con una superficie de alrededor 3000 ha, España es el mayor productor de chirimoyo del mundo. Otros países importantes en producción de chirimoyo son Perú, Chile, Bolivia, Ecuador, México y Estados Unidos (Bioversity International y Cherala, 2008).

El fruto se caracteriza por poseer cualidades organolépticas (aroma, sabor y textura) y propiedades nutritivas relacionadas con sus aportes de vitaminas y hierro. Una de las principales características que presenta la chirimoya cuando está lista para cortar, es que cambia el tono del color verde, debiéndose cosechar de color verde claro o verde ligeramente amarillo. Esta característica es una de las más usadas por el productor, porque se dice de otros indicadores de madurez, como el de que

“las semillas suenan”, no obstante, no es un indicador de madurez fisiológica porque es una característica propia de ciertos tipos de chirimoyas, independientemente del grado de madurez (Cerdas *et al.*, 2007). Otro indicativo de que se ha iniciado la maduración, sugerido por los productores, es un aroma que se desprende de la fruta (Cerdas *et al.*, 2007).

La chirimoya es un fruto de difícil comercialización debido a la rápida tasa de maduración que sufre el fruto tras su recolección, llegando a alcanzar la senescencia en períodos de tiempo muy cortos de 3-6 días a temperatura ambiente y dependiendo de diversos factores como el grado de madurez de cosecha y las condiciones de almacenamiento. Aunado a ello, la producción de etileno, reacciones enzimáticas, síntesis de sacarosa tienden a incrementar en un período específico (Chonhechob *et al.*, 2009). En dicho periodo se desarrolla cambios asociados con la maduración, mismos que se observan en modificaciones rápidas en su composición química, que se caracteriza por un aumento de los sólidos solubles totales (SST), la acidez, el ablandamiento de la pulpa y cáscara y la adquisición de aroma y sabor. La chirimoya inmediatamente después de la cosecha presenta textura firme, sin embargo, una vez madura se vuelve muy suave, lo cual dificulta su transporte y limita su calidad (Cerdas *et al.*, 2006).

#### **2.1.1.3. *Annona muricata* L.**

La guanábana (*Annona muricata*), fruta originaria de las regiones tropicales de América, se cultiva en diversos países de este continente y en México, en los estados de Nayarit, Colima, Veracruz y Guerrero, entre otros. Se encuentra

distribuida en varios países del Caribe, Centroamérica, Sudamérica, sur este de China, Australia, África occidental e Islas del Pacífico (Evangelista-Lozano *et al.*, 2003; Cuadros, 2008). México es el mayor productor, sobresaliendo los estados de Nayarit, Colima, Veracruz y Guerrero por su producción y número de hectáreas cultivadas (Evangelista-Lozano *et al.*, 2003; SAGARPA, 2011). Es difícil de manipular por su tamaño grande, heterogéneo e irregular. También, la presencia de escamas espiniformes carnosas que se rompen con el manejo poscosecha y constituyen vías de entrada de patógenos y el ablandamiento excesivo de la pulpa en la madurez lo hace propenso a daños mecánicos que ocasiona rupturas del fruto por su propio peso, lo que incrementa las pérdidas durante la etapa de comercialización (Zárate, 1995; Ploetz, 2003; SAGARPA, 2011). Un factor determinante en el almacenamiento poscosecha es el grado de madurez al momento del corte. Actualmente, no existen métodos o tecnologías poscosecha disponibles capaces de extender la vida de anaquel por más de 9 días en frutos de guanábana, aunque algunos autores han realizado investigaciones orientadas a la mejora de la calidad de este fruto, sin obtener resultados sobresalientes. Si bien, se sabe que el papel de diversas hormonas como el etileno actúa primariamente como promotor, las citocininas como antagonistas, el papel de otras hormonas no se ha esclarecido completamente. Sin embargo, se ha reportado retraso de los cambios asociados con la maduración y/o senescencia como consecuencia aumento en la vida de anaquel de diversas frutas mediante la aplicación de hormonas como las giberelinas y auxinas (Buchanan *et al.*, 2000; Fidelibus y Davies, 2001; Ramakrishna *et al.*, 2002).

#### **2.1.1.4. *Annona diversifolia* Saff.**

La ilama (*Annona diversifolia*) tiene su origen en el Sureste de México y Guatemala (Ferreira y Pinto, 2005) y se considera como una de las frutas subtropicales más importantes de las regiones de clima cálido en estas zonas. Es un árbol que puede llegar a los 8.5 m de altura. La mayor tasa de crecimiento tiene lugar durante la estación de lluvias (mayo-septiembre), mientras que la época de menor actividad vegetativa coincide con la disminución de las temperaturas y la humedad del suelo (diciembre-marzo) (Otero *et al.*, 2005). En México se comercializa en fresco y en los mercados locales donde se desarrolla. Se produce en los estados Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Veracruz y Tabasco (Chávez *et al.*, 1999). Sus frutos son considerados de gran importancia a nivel local por sus atractivas características sensoriales por lo que son apreciados y tienen un valor comercial importante con potencial para su aprovechamiento en fresco o procesado (FAO, 1992). Sin embargo, es altamente perecedero y de difícil manejo poscosecha. En esta etapa el fruto presenta baja firmeza, incremento de metabolismo interno, daños mecánicos al ser cosechados por tamaño, forma y agrietamiento, exponiendo la pulpa, la cual se vuelve sensible a pudriciones. Todo esto, reduce significativamente a no más de 3 días el periodo de vida de anaquel (Chávez *et al.*, 1999).

#### **2.2. Desarrollo del fruto.**

La formación del fruto es uno de los procesos de desarrollo más complejos de las plantas. El desarrollo del fruto ocurre en tres etapas: desarrollo incluyendo

crecimiento y diferenciación, maduración, seguidos por la senescencia (Alba *et al.*, 2005).

### **2.2.1. Amarre y crecimiento**

El inicio del desarrollo del fruto es el amarre y la continua división celular (Dos Santos *et al.*, 2015). El amarre o fructificación se entiende como la reanudación del crecimiento del ovario de la flor, pasando de una condición estática a un rápido crecimiento y depende de una exitosa polinización y fecundación de los óvulos (Gillaspy *et al.*, 1993). Después de este periodo, el crecimiento se da como consecuencia del aumento de tamaño de la célula. Esta etapa se caracteriza por el alargamiento del fruto, seguida por una fase de maduración, donde el número de células se mantiene relativamente constante, observándose un aumento en el tamaño de las mismas (Dos Santos *et al.*, 2015); este proceso finaliza con la maduración y posterior senescencia y caída.

Diversos autores mencionan que los frutos de las anonáceas presentan un patrón de crecimiento doble sigmoide (Yonemoto y Nakao, 1993; Franco-Mora *et al.* 2001; Pal y Kumar,1995; Moreno *et al.*, 2008 ) y durante la fase de crecimiento lento el embrión crece y se desarrolla (Worrell *et al.*,1994).

### **2.2.2. Maduración.**

La maduración es la etapa final del desarrollo, ocurre una vez que el fruto adquiere su tamaño máximo (Kader, 1997). Comprende una serie de cambios bioquímicos, fisiológicos y estructurales irreversibles, que como consecuencia modifican la apariencia, textura, sabor, aroma y características nutricionales del fruto

(Giovannoni, 2004). Estos cambios solo pueden retrasarse o disminuir su velocidad con la aplicación externa de ciertos procedimientos o tecnologías (Omboki *et al.*, 2015) que permitirán prolongar la vida útil de los frutos con sus características físicas, químicas y nutricionales de calidad óptima. Durante el crecimiento y hasta la maduración existen genes involucrados en el control de los procesos de la maduración. Entre ellos, los factores de transcripción (TFs) que tienen gran importancia en la modulación de la expresión de varios genes y procesos metabólicos (O'Neill, 1997; Giovannoni, 2001).

#### **2.2.2.1. Maduración fisiológica.**

La madurez fisiológica se refiere a la etapa del desarrollo del fruto en que se ha alcanzado prácticamente el máximo desarrollo, con crecimiento máximo, pero el fruto sigue metabolizando para continuar madurando hasta llegar a su punto óptimo de consumo a pesar de estar separado de la planta. Así, el fruto consigue desarrollar características sensoriales de calidad y es un paso intermedio entre el fin del crecimiento y el inicio de la senescencia (Dos Santos *et al.*, 2015). Inicia antes de que finalice el crecimiento celular y termina cuando el fruto tiene las semillas viables. La maduración fisiológica sólo se complementa adecuadamente mientras el fruto esté adherido a la planta (Crisosto, 1994). Los frutos de la familia Anonácea generalmente son cosechados en este tipo de madurez. Para determinar la madurez óptima de recolección de frutas se usa una combinación de criterios subjetivos (olor, sabor, tamaño, forma, textura, aroma) y objetivos (tiempo a partir de la floración,

características físicas y químicas, patrón respiratorio). Estos criterios son nombrados índices de cosecha.

#### **2.2.2.2. Madurez hortícola o comercial.**

Es el estado de desarrollo del fruto donde genera las características para consumo u otro fin comercial. En esta etapa, el fruto cumple las exigencias del mercado destino para un fin concreto, basados en los índices de madurez adecuados para el consumidor o poder alcanzarla después de la recolección. La madurez comercial puede coincidir con la maduración fisiológica, maduración organoléptica o senescencia, dependiendo de la especie. Debido a esto, no es clara la distinción entre la iniciación y finalización entre las distintas etapas del desarrollo (crecimiento, madurez fisiológica, madurez organoléptica y senescencia) (Wills *et al.*, 1997) y puede ocurrir en cualquier fase del desarrollo.

#### **2.2.2.3. Madurez de consumo,**

Es el estado de desarrollo de los frutos que reúne las características sensoriales deseables como: tamaño, color, sabor, textura, composición interna que la definen como comestible. La maduración de consumo u organoléptica se puede completar tanto en la planta, como una vez que la fruta ya se ha recolectado. Esta etapa es un proceso que comienza al finalizar la maduración fisiológica y que irreversiblemente conduce a la senescencia del fruto. Esta etapa puede coincidir o no con la madurez fisiológica.

#### **2.2.2.4. Senescencia.**

La senescencia es la etapa final de desarrollo de los frutos, en ella, ocurre el deterioro de la membrana y la muerte celular. También se detiene la síntesis de carbohidratos e inicia la degradación de proteínas, lípidos, ácidos nucleídos y clorofilas, que requiere la síntesis de enzimas hidrolíticas, así como la síntesis de carotenoides y de compuestos antioxidantes (Gapper *et al.*, 2013). Debido a las características de la senescencia la madurez de consumo puede ser considerada como el primer paso de un proceso de muerte celular programada (Bouzayen *et al.*, 2010).

### **2.3. Principales cambios en la maduración.**

#### **2.3.1. Cambios físicos.**

##### **2.3.1.1. Peso.**

En productos frescos, durante el periodo poscosecha, el aumento de la transpiración y respiración, contribuyen a la pérdida de peso, asociado directamente a la pérdida de agua. La pérdida de peso es proporcional al aumento de la temperatura (Cruz-Álvarez *et al.*, 2012). Esta pérdida de peso se debe al incremento de la velocidad en los procesos metabólicos de oxidación que provocan una serie de reacciones que contribuyen al deterioro. Para lograr que la fruta tenga una vida de anaquel aceptable, es factible manipular variables externas, siendo la temperatura del almacenamiento la más empleada. Wachiraya *et al.* (2006) afirman que una de las principales causas de esta pérdida está relacionada con el déficit de presión de vapor entre su superficie y la atmósfera en que se encuentran.

### **2.3.1.2. Color.**

El color es uno de los atributos en la calidad de los frutos cuyo cambio es más perceptible durante la maduración. El cambio de color en las frutas se debe a la degradación de clorofilas (Valpuesta *et al.*, 1996) y a la síntesis de pigmentos rojo (licopeno), amarillo y anaranjado (carotenoides), así como la síntesis de flavonoides, principalmente antocianinas (Villalobos, 2008). Estos cambios son una respuesta bioquímica desencadenada por los receptores de etileno, generando con ello pérdida de la coloración verde de los frutos. Estos compuestos se acumulan generalmente en la epidermis durante la maduración, sin embargo, frutos de naturaleza climatérica también acumulan pigmentos en el tejido de la pulpa durante la maduración (Bouzayen *et al.*, 2010). En el caso de los frutos de la familia Anonaceae, estos generalmente son cosechados cuando cambia de color verde a verde-amarillo, sin embargo, algunos cambios en el color no son muy marcados (Cerdas *et al.*, 2006), por lo que se emplean otros parámetros para determinar el momento de corte.

### **2.3.1.3. Firmeza.**

La pared celular es una estructura semirrígida y dinámica que rodea a la célula vegetal. Mantiene tamaño, forma, y desarrollo de la planta y confiere protección a los factores bióticos y abióticos del ambiente. La integridad de la pared celular está estrictamente controlada y coordinada con la respuesta al estrés en las células vegetales (Wu y Jin, 2010). La firmeza es el parámetro más usado para establecer el grado de madurez de un fruto y es utilizado como un indicativo para determinar

su vida de anaquel. Los cambios en este parámetro pueden producirse en poco tiempo de forma acelerada, generando pérdidas durante la poscosecha por la susceptibilidad al daño mecánico y al ataque de patógenos reduciendo significativamente la calidad y tiempo de conservación. El ablandamiento de los frutos es causado por el efecto acumulativo de una serie de modificaciones que ocurren en las redes de polímeros que constituyen la pared celular primaria. Esta pérdida de firmeza está relacionada directamente con el incremento de la actividad enzimática que ocurre durante la maduración (Dos Santos *et al.*, 2015), ocasionando degradación de compuestos péctidos. Entre las enzimas responsables de esta acción están la pectin metil esterasa (PME) y la poligalacturonasa (PG), las cuales degradan la pared primaria y la lámina media. También la pérdida de firmeza está asociada a la degradación de polisacáridos en pared celular, como consecuencia de las actividades de la hemicelulosa y celulosa (Watkins, 2006).

### **Poligaracturonasa**

La poligalacturonasa es una enzima que incrementa su actividad durante la maduración y se le considera, entre otras, responsable de la acumulación de pectinas solubles en agua y la disminución de pectinas unidas iónica y covalentemente (Lazan *et al.*, 1995). Esta enzima degrada el ácido poligalacturónico que compone la pectina presente en la lámina media y en la pared celular primaria de la célula vegetal, hidrolizando los enlaces  $\alpha$ 1-4 entre los ácidos galacturónicos de manera aleatoria, produciendo mono, di y oligalacturonatos (Jian *et al.*, 2009), lo cual genera pérdida continua de la firmeza. (Ogawa *et al.*, 2009).

## **Pectinmetilesterasa**

Es una enzima hidrolítica, que se encuentra de manera natural en la mayoría de las frutas y actúa cortando los enlaces éster del C-6 liberando metanol al medio y convirtiendo la pectina de alto grado de esterificación en pectatos de bajo grado de esterificación (Pilnik y Voragen, 1991). En frutos de guanábana, se ha relacionado a la pectin metil esterasa con el rápido ablandamiento de los frutos durante la maduración (Lima *et al.*, 2006).

### **2.3.2. Cambios bioquímicos.**

#### **2.3.2.1. Azúcares.**

En la maduración de frutos, el contenido de azúcares simples aumenta progresivamente hasta alcanzar la maduración organoléptica, bien por la degradación casi total de las reservas amiláceas en frutos climatéricos, o por la degradación de los productos de la fotosíntesis en frutos no climatéricos. Se derivan de la conversión del almidón en azúcares solubles, degradación de carbohidratos poliméricos, almidón y celulosa, por lo que además del sabor, se ve afectada la textura del fruto (Wills *et al.*, 1997). Los azúcares son los sustratos principales utilizados para la respiración, que son liberados de manera controlada, por medio de la glicólisis, la vía de la pentosa fosfato y la vía de los ácidos tricarbónicos (Rodríguez *et al.*, 2005), por lo que comienza el proceso inverso, en el cual su contenido disminuye. En las frutas maduras, los azúcares representan el principal componente de los SST.

### **2.3.2.2. Acidez titulable.**

Las frutas son ricas en ácidos orgánicos que están disueltos en la vacuola de la célula, ya sea en forma libre o combinada como sales, ésteres, glucósidos y alcanzan su máximo valor durante el crecimiento de la fruta en la planta. La concentración inicial de ácidos orgánicos en frutos va disminuyendo conforme avanza los procesos de maduración, ya que estos compuestos son utilizados por el fruto como sustratos respiratorios para convertirlos en azúcares. Por lo tanto, los azúcares y la acidez son componentes muy prácticos en poscosecha y la relación entre estos componentes determina el sabor de los frutos (Wills *et al.*, 1997).

### **2.3.2.3. Fenoles.**

Este grupo bioquímico comprende aproximadamente 8000 compuestos que aparecen en todo el reino vegetal. Son moléculas orgánicas producto del metabolismo secundario. Se localizan en todas las partes de las plantas y su concentración es variable a lo largo del ciclo vegetativo. Todos ellos poseen una estructura común: un anillo fenol, un anillo aromático, que lleva al menos un sustituyente hidroxilo (Decker, 2009). Se clasifican en cuatro familias en función del número de anillos fenólicos y de los elementos estructurales unidos a ellos: flavonoides, ácidos fenólicos, estilbenos, cumarinas y taninos. Participan en diversas funciones, tales como la asimilación de nutrientes, la síntesis proteica, la actividad enzimática, la fotosíntesis, la formación de componentes estructurales, la alelopatía y la defensa ante los factores adversos del ambiente. También están asociados al color, las características sensoriales (sabor, astringencia, dureza), las

características nutritivas y las propiedades antioxidantes de frutas y hortalizas (Robbins, 2003). Conforme avanza la maduración existe una disminución en el contenido de fenoles, que se atribuye al alto metabolismo oxidativo que en esta fase favorece la aparición de especies reactivas de oxígeno (Pérez-Tello *et al.*, 2001).

### **2.3.3. Cambios fisiológicos.**

#### **2.3.3.1. Respiración.**

La respiración es un proceso de degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en el metabolismo de las frutas a productos simples. El almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos son transformados a dióxido de carbono y agua, proporcionando energía para las reacciones anabólicas que ocurren en la maduración y el mantenimiento celular durante el almacenamiento (Hernández, 2008; Gomes *et al.*, 2010). Durante el proceso se consume O<sub>2</sub> en una serie de reacciones enzimáticas. La glucólisis, el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, y el sistema de la cadena de transporte de electrones son las rutas metabólicas de la respiración aeróbica (Fonseca *et al.*, 2002).

De acuerdo a su tasa respiratoria, la chirimoya, la guanábana y la ilama han sido clasificados como climatéricas, ya que presentan dos picos de respiración. El primero ocurre después de tres a cuatro días a temperatura ambiente y el segundo a los seis o siete días, dependiendo del grado de madurez al momento de cosecha. La chirimoya posee ciclos de respiración y de producción etileno altos y variables de hasta 150 mg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> y 100 ml·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>, respectivamente a 24.5 °C (Bruinsma y Paull, 1984). Por lo que la vida de anaquel es relativamente corta, entre unos 6 a 9 días después de la cosecha (Pareek *et al.*, 2011). En dicho periodo

ocurren cambios físicos, químicos y bioquímicos que provocan el deterioro de la calidad; principalmente oscurecimiento de la cáscara, ablandamiento excesivo que ocasiona ruptura por su propio peso y el ataque de hongos derivado de esta ruptura (Ploetz, 2003). Por otro lado, en guanábana el patrón de respiración muestra dos picos en dos temperaturas de almacenamiento. El primer pico de respiración alcanza valores entre 35 y 67 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y a 16 ±2 °C almacenados a 25 ±2 °C, entre 26 y 47 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> al día 2 de almacenamiento (Castillo *et al.*, 2005).

#### **2.3.3.2. Transpiración.**

Los frutos contienen entre 80% y 95% de agua por peso. La transpiración es un proceso fisiológico mediante el cual el fruto pierde agua en estado de vapor por diferencia de presión entre el interior del fruto y el entorno, a través de las lenticelas del área expuesta del producto. Dicho proceso conduce a acelerados niveles de degradación de los tejidos (Pontin *et al.*, 2005) y en caso de ser mayor a 5% de pérdida de agua, se presenta pérdida de turgencia y valor nutricional del vegetal, además, demerita su calidad y valor comercial (FAO, 1987; Kader, 2002). El grado de transpiración, está relacionada directamente con la pérdida de peso.

#### **2.3.3.3. Producción de etileno.**

El etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) es conocido como la hormona de la maduración debido a que estimula la expresión de genes que codifican para las enzimas relacionadas con los cambios durante la maduración y/o senescencia (Jiang y Fu, 2000). Su efecto en plantas se produce en concentraciones muy bajas y se manifiesta prácticamente en

todas las etapas de su ciclo biológico, desde la germinación de las semillas hasta la maduración y senescencia, o en respuesta al estrés. En la poscosecha, promueve que los frutos alcancen las características organolépticas óptimas deseables para su consumo y es responsable de la senescencia de los tejidos, generando efectos desfavorables en la calidad de los frutos provocando pérdidas considerables si no se regula su producción (Bapat *et al.*, 2010).

La maduración de los frutos de saramuyo se caracteriza por la alta velocidad de respiración con un máximo climatérico 3 días después de cosecha y alta producción de etileno. Durante esta etapa, la firmeza de la pulpa y resistencia del fruto a la deformación disminuyen aceleradamente; este comportamiento se atribuye directamente a la acción de las enzimas pectin metil esterases (PME) y poligalacturonasas (PG). El contenido de SST y ácido cítrico aumenta y el pH disminuye. La coloración amarilla y roja de la pulpa es más intensa conforme va madurando (Bolívar *et al.* 2009).

La chirimoya es alta productora de etileno ( $100$  a  $300 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Forma dos veces más etileno que el mango (*Mangifera indica* L.) y el aguacate (*Persea americana* Mill.) y cuatro veces más que la pera (*Pyrus communis* L.), manzana (*Malus domestica* Borkh.) y plátano (*Musa acuminata* L.) (Toro, 2009). Además, es una fruta sensible al etileno producido por otras frutas más maduras (Cerdas *et al.*, 2007). Para guanábana, López *et al.* (2018) mencionan que la producción de etileno en los frutos almacenados a  $16 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  alcanzó valores de  $9$  a  $34 \mu\text{L etileno kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  al finalizar el periodo de almacenamiento de nueve días, comparado con los almacenados a  $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  que alcanzaron valores de  $9$  a  $31 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  en siete días.

## **2.4. Tecnologías en poscosecha.**

### **2.4.1. Refrigeración.**

La refrigeración es, entre las tecnologías que permiten prolongar la vida de anaquel de productos frescos, una de las más empleadas y eficaces. Sin embargo, los frutos del género *Annona* presentan sensibilidad a las bajas temperaturas, entre los 4 a 18 °C. En estas condiciones ocurren daños fisiológicos que se observa mediante decoloración y depresiones en la cáscara, aumento de la firmeza de la pulpa, pérdida de la capacidad de madurar, pardeamiento de la pulpa o cáscara, desarrollo de malos olores y sabores y aceleración de la senescencia (Alves *et al.*, 1997).

Con el objetivo de reducir los efectos de la pérdida de calidad en frutos de saramuyo, trabajos como el de Vishn *et al.* (2000) mencionan que el rango óptimo de temperatura de almacenamiento se encontró entre 15 y 20 ° C, siendo a 15 °C la temperatura que preservó mayor tiempo la vida de anaquel. La maduración organoléptica de los frutos se observó a los días 4, 6 y 9 de almacenamiento a 25, 20 y 15 °C, respectivamente. Para el caso de chirimoya, la temperatura es una herramienta efectiva, pero su utilidad está limitada por la sensibilidad de las chirimoyas a las lesiones por frío por debajo de 7 a 10 °C, dependiendo de la variedad. Algunos autores indican que la guanábana al ser un fruto tropical, su vida de anaquel es corta debido a que presenta daños por frío cuando se somete a temperaturas inferiores a 16°C (Guerra *et al.*, 1995) y 15°C (Reginato y Lizana, 1980).

#### **2.4.2. Atmósferas modificadas.**

Es una técnica que consiste en empacar productos alimenticios en materiales que actúan como barrera a la difusión de los gases, en los cuales, la composición del ambiente ha sido modificado para disminuir la velocidad de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático, conservando sus características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas por más tiempo. En las atmósferas modificadas (AM) activas se elimina el aire del interior del envase para sustituirlo por un gas o mezcla de gases (Drake *et al.*, 2004). En general, esta técnica reduce la tasa respiratoria, frena la biosíntesis de etileno, el ablandamiento por la acción en específico de la PG y PME, la pérdida de acidez y de azúcares, la degradación de clorofilas, de antocianos y de carotenos y el pardeamiento enzimático (Artés, 2006). El uso de AM incrementó firmeza en la calidad poscosecha de frutos de ilama en madurez de consumo almacenados a 20 °C en comparación con el testigo (Valle *et al.*, 2012).

#### **2.4.3. Atmósferas controladas.**

La atmósfera controlada es usada para controlar de manera precisa la composición atmosférica en el almacenamiento de productos frescos, ya sea en cámaras de almacenamiento o en contenedores para su transporte. Ya que incrementa la vida poscosecha de alimentos frescos dos o tres veces más que otros métodos de conservación. Consiste en reducir el contenido de O<sub>2</sub> e incrementar el contenido de CO<sub>2</sub> con respecto a la composición en el aire. La proporción de estos gases es controlada durante todo el periodo de almacenamiento del fruto (Cerón y Rodríguez,

2007). Durante el periodo de vida de anaquel, la composición de la atmósfera permanece integra desde el inicio hasta el final cuando la atmósfera es abierta.

#### **2.4.3.1. Ceras.**

Son mezclas de ésteres de alta masa molecular, constituidas por ácidos grasos y alcoholes monohidroxilados, pueden ser obtenidas de fuentes animales y plantas (Carrillo-López et al., 2000). Pueden constituirse como una barrera artificial a la difusión gaseosa alrededor de las frutas, ya que disminuyen los niveles de O<sub>2</sub>, aumentan el nivel de CO<sub>2</sub> y en consecuencia, afectan el metabolismo del etileno. Sin embargo, la efectividad de las mismas como cubiertas comestibles depende de los productos hortícolas en donde se aplique y específicamente de su composición química (Pettrerek *et al.*, 1999). Castillo *et al.* (2005) reportan que la aplicación de ceras, ácido giberélico y éster isopropílico del ácido 2,4-diclorofenoxiacético a frutos de guanábana cosechados en dos estados de madurez no evitaron la presencia de daños por frío cuando fueron almacenados a temperaturas de 12, 14, 16 y 18°C. Por otro lado, Lima *et al.* (2010) mencionan que la aplicación de 200nL de 1-MCP a frutos de guanábana y almacenados a 15°C no prolongó la vida de anaquel por más de 8 días. El uso de ceras en combinación con 1-MCP ha reducido la pérdida de firmeza y ha aumentado el contenido de SST (Lima y Alves, 2010). La evaluación de las aplicaciones de emulsiones De que?? y 1-MCP, mostraron que estas combinaciones no retrasaron la maduración de la guanábana, sin embargo, disminuyeron la pérdida de peso permitiendo la madurez organoléptica a los 15 días de almacenamiento (Tovar *et al.*, 2011), se mantuvo la calidad nutricional de los

frutos (Moreno *et al.* 2014) y conservaron la calidad de los frutos de guanábana de 14-15 días a 16°C (Montalvo *et al.*, 2014).

#### **2.4.3.2. Recubrimientos comestibles.**

Los recubrimientos comestibles (RC) son formulaciones a base de polímeros naturales que permiten extender la vida de anaquel y mantener las características de calidad en frutos y hortalizas. Son una capa delgada que se forma directamente sobre la superficie de las frutas y las cubre produciendo una AM. Actúan como barrera al oxígeno, dióxido de carbono y etileno, reducen la transpiración, disminuyen los daños por manipulación, procesos oxidativos y microorganismos en frutas y hortalizas (De Ancos *et al.*, 2015). Además de que pueden mejorar las propiedades sensoriales y reducen el uso de materiales sintéticos contaminantes, presentan la ventaja de ser totalmente biodegradables y comestibles (Rojas-Graü *et al.*, 2008). En ilama, el uso de AM en frutos almacenados a 20 °C redujo las tasas de pérdida de peso y ablandamiento, no afectaron la tasa de respiración ni la concentración de SST, acidez y azúcares totales, pero aumentaron el contenido de azúcares reductores (Moreno *et al.*, 2008). Por otro lado, también la adición de agentes antioxidantes a los RC, tales como el ácido ascórbico, ácido cítrico, propóleo y aceites esenciales, han reportado reducción notable de la oxidación de la fruta, aumenta el contenido de fenoles totales y de vitamina C, además de reducir la pérdida de peso (Robles-Sánchez *et al.*, 2013).

#### **2.4.4. Resveratrol.**

El resveratrol es un compuesto fenólico de masa molecular: 225.25 g mol<sup>-1</sup>, punto de fusión: 15 °C, solubilidad: 0.03 g l<sup>-1</sup> de agua. Se ha descrito como una de las moléculas más importantes para la resistencia a las enfermedades fúngicas en las vides (*Vitis vinifera* L.), como respuesta a los estreses bióticos y abióticos. Reduce la contaminación por microorganismos, por lo que puede usarse en el control de enfermedades durante la poscosecha (Jiménez *et al.*, 2005). Su uso también incrementó la calidad sensorial, vida de anaquel y calidad nutricional en manzana, aguacate, tomates, pimiento (*Capsicum annuum* L.), fresa y uva a concentración de 1.6 x 10<sup>-4</sup> M. Además, en mandarina (*Citrus unshiu* Marcow) preservó el color durante 12 semanas a 10°C y 95% de humedad relativa con un concentración de 1.6 x 10<sup>-5</sup>M (Cherukuri *et al.*, 2007). Por otro lado, Morales *et al.* (2014) indicaron que 1.6 mM de RVS aplicado a 8 y 15 días antes de la cosecha a frutos de chirimoya 'Fino de Jete' y 'Bronceada' redujo la tasa de ablandamiento en 54 y 78 % respectivamente después de 15 días de almacenamiento.

#### **2.4.5. 6-Bencil aminopurina (BAP).**

Dentro de las tecnologías usadas para mejorar la calidad y aumentar el tamaño del fruto están el uso de reguladores de crecimiento. Las citocininas están involucradas en el control y regulación de la maduración de los frutos (Giovannoni, 2001), promueven la división celular, el desarrollo y la germinación, además de retrasar el envejecimiento y la senescencia de hojas. RVS mantuvo por más tiempo las concentraciones de clorofila en 60 % y 44 % y de sus proteínas solubles totales, en

particular de la RUBISCO, en trigo (*Triticum aestivum* L.) (González *et al.*, 2009). En brócoli (*Brassica napus* L.) disminuyó la tasa de respiración (Rushing, 1990) y retrasó el amarillamiento de la inflorescencia (Zaicovski *et al.*, 2008). Durante la maduración de plátano, 1 mM BAP limitó la degradación de clorofila y la deshidratación de la cáscara (Aghofacky Manka'abiengwa, 2012). Morales *et al.* (2015) indicaron que la aplicación de 1 mM de 6-BAP, tanto 8 o 15 días antes de cosecha, redujo el oscurecimiento poscosecha de la cáscara de chirimoya.

#### **2.4.6. Inhibidores de la acción del etileno.**

Diferentes tecnologías y procedimientos se han desarrollado para disminuir los efectos negativos del etileno en poscosecha. Entre ellos, los que han mostrado mayor eficiencia en el control de la madurez y senescencia de frutos, hortalizas y flores son los retardantes químicos (Arora *et al.*, 2008). Dichos retardantes químicos se pueden clasificar en inhibidores de la síntesis del etileno, donde se incluyen productos como:

##### **2.4.6.1. 1-Metilciclopropeno (1-MCP).**

Es una olefina cíclica, a temperatura y presión estándar, es un gas con un peso molecular de 54, no es tóxico, es inodoro, estable a temperatura ambiente, además que inhibe la acción del etileno. Actúa a bajas concentraciones ocupando los receptores del etileno con una afinidad mayor. Esta acción se lleva a cabo de manera irreversible, bloqueando la transducción de señales que conllevan a la expresión de genes relacionados con la respuesta al etileno. Controla las reacciones

propias de la maduración evitando el ablandamiento de tejidos, desintegración de la pared celular y degradación de pigmentos, prolongando la vida de anaquel y preservando la calidad del producto (Tovar *et al.*, 2011; Montalvo *et al.*, 2014).

#### **2.4.6.2. Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG).**

Puede aplicarse en precosecha (foliar) y poscosecha (inmersión). Actúa en la enzima ACC sintasa, mediante la unión al sustrato (fosfato de piridoxal: PLP) (Johnson y Colgan, 2003). En frutos climatéricos retrasa la madurez al disminuir la producción de etileno, la tasa de respiración, el ablandamiento de los tejidos, la degradación de clorofilas y la pérdida de peso (Hayama *et al.*, 2008). En pera puede disminuir algunos desórdenes fisiológicos en los frutos, como el pardeamiento enzimático (D'Aquino *et al.*, 2010). Contrario a ello, en manzana 'Core flush' y 'Break-down' puede agravar otros desordenes fisiológicos (Johnson y Colgan, 2003).

#### **2.4.6.3. Ácido aminooxiacético (AOA).**

Es un inhibidor no específico de todas las enzimas que requieren fosfato de piridoxal como coenzima, incluyendo ACC sintasa, por lo cual, disminuye la síntesis de etileno endógeno (Taiz y Zeiger, 2006). Al ser un inhibidor no específico, puede interferir en numerosas reacciones enzimáticas, pudiendo afectar otros procesos fisiológicos (Staby *et al.*, 1993). No es tóxico para el ambiente, por lo cual se considera como una alternativa viable ecológicamente en la poscosecha cuyos efectos en la etapa poscosecha de flores van a depender de la especie en

estudio (López *et al.*, 2008). Sin embargo, su costo lo hace inviable económicamente.

#### **2.4.6.4. Permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>).**

Es un agente oxidante fuerte en muchas reacciones redox. Cuando entra en contacto con el etileno, lo oxida, disminuyendo los niveles de etileno en la atmósfera y por tanto afecta los procesos dependientes de etileno durante la maduración (Sammi y Masud, 2007). La dosis y la cantidad de etileno que puede oxidar el KMnO<sub>4</sub> no es clara (Wills y Warton, 2004). Los resultados en la poscosecha con el uso de KMnO<sub>4</sub> dependen de la especie, empaque del producto y de las condiciones humedad relativa y temperatura durante el periodo de almacenamiento (Bal y Celik, 2010). En chirimoya el uso de KMnO<sub>4</sub> y películas de PVC retardó la maduración de las frutas aumentando la vida de anaquel sin afectar el contenido máximo de sólidos solubles y el pH (Chaves *et al.*, 2007).

#### **2.4.7. Tratamientos térmicos.**

Los tratamientos térmicos en la poscosecha son alternativas o complementos de tratamientos químicos empleados durante el almacenamiento. Se sabe que la aplicación de altas temperaturas, induce la síntesis de proteínas de estrés térmico (Heat Shock Proteins, HSPs) (Vierling, 1991). Las HSPs protegen contra diferentes tipos de estrés y en el restablecimiento de la homeostasis celular. Además, se ha comprobado que interactúan con otros mecanismos, en forma

sinérgica, para disminuir el daño celular (Wang *et al.*, 2004), disminuyen la sensibilidad a los daños por frío durante o después del almacenamiento a bajas temperaturas en mandarina (*Citrus reticulata* Blanco) por medio del calentamiento intermitente con vapor y agua caliente (Sala y Lafuente, 2000; Fallik, 2004; Liu *et al.*, 2015).

#### **2.4.8. Tratamientos con radiación UV.**

Entre los tratamientos viables para prolongar la vida poscosecha de frutas y hortalizas enteras y mínimamente procesadas, se encuentra la irradiación ultravioleta (UV) tipo C (UV-C). El empleo de esta tecnología en la poscosecha de diferentes cultivos a bajas dosis de irradiación mejora las condiciones del fruto durante el almacenamiento (Alothman *et al.*, 2009). Puede afectar el metabolismo secundario de los productos frescos e incrementar la síntesis de compuestos fitoquímicos con actividad antioxidante, tales como el ácido ascórbico y los compuestos fenólicos (Artés-Hernández *et al.*, 2010). También puede reducir las pérdidas poscosecha ocasionadas por daño por frío, susceptibilidad al ataque de fitopatógenos, daños mecánicos, pérdida de firmeza y otros (Rivera *et al.*, 2007; Pongprasert *et al.*, 2011).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **3.1. Material vegetal.**

##### **3.1.1. Chirimoya**

En un huerto comercial de chirimoya 'Bays' ubicado en Achichipico, Morelos, México (18°94'62" N; 98° 82'75" O; 1944 m de altitud) se realizó la aplicación única de una solución acuosa que contenía 1.6 mM de RVS y 1.0 mM de BAP con un rociador agrícola de 3 L, hasta punto de goteo. Se emplearon 6 árboles como control y 6 árboles para el tratamiento. Después de la aplicación se cosecharon frutos maduros a los 8, 15 y 30 días posteriores a la aplicación. Los frutos colectados fueron transportados al Laboratorio de Horticultura de la Universidad Autónoma del Estado de México y almacenados durante 15 días a temperatura ambiente (18°C), se realizaron análisis de manera periódica de firmeza, compresión, color, peso, °Bx al día 1, 3, 5, 8, 10, 12 y 15 de almacenamiento (DDA).

##### **3.1.2. Guanábana.**

Se preparó una solución que contenía la mezcla de 1.6 mM de RVS (Cápsulas comerciales Laboratorios Lemi) y 1.0 mM de BAP (SIGMA). Dicha solución se aplicó en frutos de guanábana próximos a madurar, en un huerto comercial de la finca "La Libertad", ubicada en ejido 26 de octubre, municipio de Tapachula, estado de Chiapas, México. Posteriormente, 10 días después de la aplicación, los frutos maduros fisiológicamente fueron trasladados al Laboratorio de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chiapas donde se almacenaron a 18°C y a los 1, 5,

8 y 11 días después de la cosecha (DDC) y se midieron variables físicas. Se conservó pulpa a  $-20^{\circ}\text{C}$  y posteriormente, dichas muestras se trasladaron al Laboratorio de Horticultura de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, donde se determinó contenido de compuestos fenólicos y de sólidos solubles totales.

### **3.1.3. Ilama.**

Se colectaron frutos de ilama en madurez de consumo en el “Cerro de los Nopales”, en la comunidad de San Francisco, municipio de Tejupilco, Estado de México. Los frutos fueron trasladados al laboratorio de Horticultura de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx para aplicar un recubrimiento comestible y posteriormente fueron almacenados a temperatura ambiente ( $20-23^{\circ}\text{C}$ ), refrigeración ( $4^{\circ}\text{C}$ ) y congelación ( $0^{\circ}\text{C}$ ). Incluir que pruebas se efectuaron.

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

Como resultado del conjunto de trabajos realizados en esta investigación se generan las secciones:

**4.1. Salomon-Castaño, J., O. Franco-Mora, A. A. Morales, A. Castañeda-Vildózola, J. M. Villarreal-Fuentes and J. R. Sánchez-Pale. 2020. Improve of the preharvest application of resveratrol and 6-benzylaminopurine technique to reduce postharvest cherimoya fruit softness. Acta Horticulturae 1278: 77-82. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1278.12>. Revista indizada en Scopus.**

**4.2. Salomon-Castaño J., J. M. Villarreal-Fuentes, O. Franco-Mora, A. Castañeda-Vildózola y J. R. Sánchez-Pale. 2020. El resveratrol y la 6-bencil aminopurina reducen la pérdida de firmeza y color en poscosecha de guanábana (*Annona muricata* L. Annonaceae). Acta Agrícola y Pecuaria 6: E0061005 <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061005>. Revista en el Índice CONACYT con competencia internacional.**

**4.3. Conservación de la calidad poscosecha de ilama (*Annona diversifolia* Saff.) mediante un recubrimiento comestible. (Sin publicar)**

#### **4.1. Improve of the preharvest application of resveratrol and 6-benzylaminopurine technique to reduce postharvest cherimoya fruit softness.**

J. Salomon-Castaño<sup>1</sup>, O. Franco-Mora<sup>1</sup>, A. A. Morales<sup>1</sup>, A. Castañeda-Vildózola<sup>2</sup>,  
J. M. Villarreal-Fuentes<sup>3</sup>, J. R. Sánchez-Pale<sup>2</sup>

##### **Abstract**

Application on one by one cherimoya fruit of a mixed solution of 1.6 mM resveratrol (RVS) and 6-benzyl-aminopurine (BAP) at eight or fifteen days before harvest, successfully reduced 'Fino de Jete' and 'Ruth' cherimoya fruit and peel softness, fruit weight lost, as well as peel color lost. In present work, we applied the same RVS-BAP treatment to the full fruit of three 'Bays' cherimoya trees, 8 days before the first harvest; as control the full fruit of other three-'Bays' cherimoya trees were sprayed with tap water. Then, according to the harvest index, we harvested at 8, 15 and 30 days after spraying (DAS). RVS-BAP treated fruit harvested 15 DAS had three more days of shelf life (15 days) than the fruit of the rest five treatments. It was noted that fruit harvested 8 and 15 DAS increased its firmness around 30% in relation to control; whereas those fruit harvested 30 DAS increased 100% its firmness in relation to control. During postharvest store, all the RVS-BAP treated fruit presented higher firmness than the non-treated cherimoya fruit. For this cultivar, there was not difference between RVS-BAP treated or non-treated fruit, in the same harvest date, for fruit weight and peel color postharvest lost. These results suggest that one application of RVS-BAP in all the fruit of the cherimoya three might be performed, preferentially at least 15 days before the first harvest.

Keywords: *Annona cherimolla*, fruit firmness, peel color, stilbene, cytokine

#### **4.1.1. Introduction.**

High perishability of cherimoya fruit limits this commodity transport and by consequence reduces, to local markets near the production areas, its marketing potential (Franco-Mora *et al.*, 2016). Human health friendly postharvest techniques to increase cherimoya shelf life include refrigeration at around 8 and 15 °C, use of control atmospheres, heat shock treatments, among others (Del Cura *et al.* 1996; Alique *et al.* 2009; Pareek *et al.* 2011). Preharvest application of a liquid solution containing 1.6 mM resveratrol (RVS) and 1 mM benzyl aminopurine (BAP) reduced postharvest cherimoya decay (Franco-Mora *et al.*, 2016) improving the beneficial effects of separated applications of RVS and BAP (Morales *et al.*, 2014; Morales *et al.*, 2015; Morales *et al.*, 2016).

Experimentally, and only in randomized selected cherimoya fruits, it was applied, 15 days before harvest, 1.6 mM RVS. This stilbene application reduced 78 and 54 % the fruit softness rate in cherimoya 'Fino de Jete' and 'Bronceada' in relation to untreated fruit (Morales *et al.*, 2014). Under simulation of an intensive fruit to fruit and fruit to container friction during handling and transport, 1.6 mM RVS reduced 'Fino de Jete' cherimoya fruit and peel softness rate around 6 and 5 %, in relation to firmness of control fruit after a 15-day storage at room temperature (Morales *et al.*, 2016). Fruit weight lost rate was usually reduced by preharvest 1.6 mM RVS application, whereas scanty effect of components of fruit flavor were observed (Morales *et al.*, 2014; Morales *et al.*, 2016).

On the other hand, application of 1.0 mM 6-benzylaminopurine (BAP), 8 or 15 days before harvest in 'Fino de Jete' cherimoya fruit retained 35% of factor L and reduced the increase of factor a of peel color, in relation to control, when stored at room temperature, but not when stored at 4°C. It was hypothesized that under room temperature storage, BAP reduced the chlorophyll lost whereas in refrigeration, the low temperatures reduced that loss of green color in the peel. Additionally, reduction in fruit weight lost was observed during postharvest of 1.0 mM BAP treated cherimoyas (Morales *et al.*, 2015).

Application of a mixed solution of 1.6 mM RVS and 1.0 mM BAP, at 8 or 15 days previous harvest, targeted three cherimoya postharvest objectives, reduced fruit and peel softness, fruit weight loss and peel browning in 'Fino de Jete' and 'Ruth'. It was determined that the higher activity of polygalacturonase (PG) was retarded around two days by the mixed solution in relation to control fruit (Franco-Mora *et al.*, 2015). As initially showed, those experiments with RVS and BAP were fruit by fruit applied, and its application in the few commercial cherimoya orchards in Central Mexico might imply several tasks that must be previously solved. Cherimoya harvest index is usually determined by the grower experience, i.e. the participating cherimoya grower heard the movement produced by the seed whereas moving the fruit, although he is agreed with the green peel color losing as harvest index (Gonzalez *et al.*, 2010). Additionally, two or more applications of RVS-BAP increase the labor cost and by consequence the fruit cost. Trying to propose RVS-BAP application as a real available and, moreover, suitable technique for improving cherimoya postharvest storage, the objective of present work was to determine the beneficial postharvest

effects of one application of a solution of 1.6 mM RVS and 1.0 mM BAP in all the fruit presents in 'Bays' cherimoya trees.

#### **4.1.2. Materials and Methods.**

A mixed solution of 1.6 mM RVS and 1.0 mM BAP was prepared as described elsewhere (Franco-Mora *et al.*, 2015) and it was applied with a 3 L agricultural sprayer in all the fruit of 6 'Bays' cherimoya trees in a commercial orchard in Achichipico, Morelos, México (18°94'62" N; 98°82' 75" W; 1944 m altitude). Application was performed eight days previous the first harvest date; the fruit of other six control trees were sprayed with tap water.

According to the producer experience, the peel color harvest index and the sufficient number of ripe fruits to sell, three harvest were performed, that is eight, 15 and 30 days after RVS-BAP application. In each harvest date, all the fruits of treated and untreated trees were transported, around 2.5 h, to the Laboratory of Horticulture at the Faculty of Agriculture, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Mexico.

The fruits were allowed to fully ripe under room temperature conditions,  $15 \pm 3^{\circ}\text{C}$  and 45 % of humidity. Then, at 1, 3, 5, 8, 10, 12 and, when possible, 15 days after storage, it was determined the fruit firmness, fruit weight, peel color and fleshly content of total soluble solids (Franco-Mora *et al.*, 2015).

The experiment was analyzed as a complete randomized one, with first factor as the spraying or not of RVS-BAP and the second factor was the harvest date (3). An

analysis of variance was performed and when necessary the means were compared with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ).

#### **4.1.3. Results and Discussion.**

According to harvest index, cherimoya was harvested 8, 15 and 30 days after spraying. More than 50% of the total fruit were harvested 8 days after spraying; over 25% at 15 days after spraying and near 20% at 30 days after spraying.

RVS-BAP treated and, then, harvested 15 days after spraying cherimoya had 3 days more of postharvest life, reaching 15 days of shelf life, in relation to the rest five treatments, even RVS-BAP treated (Figure 1). It was noted that the firmness of all the RVS-BAP treated fruit was higher in relation to their respective control (Figure 1). Particularly, when RVS-BAP treated, the fruit firmness was higher as longer was the time that the fruit remained in the tree after spraying. Contrarily, in fruits tap water sprayed, those harvested 15 days after spraying presented higher firmness than those harvested 8 and 30 days after spraying.

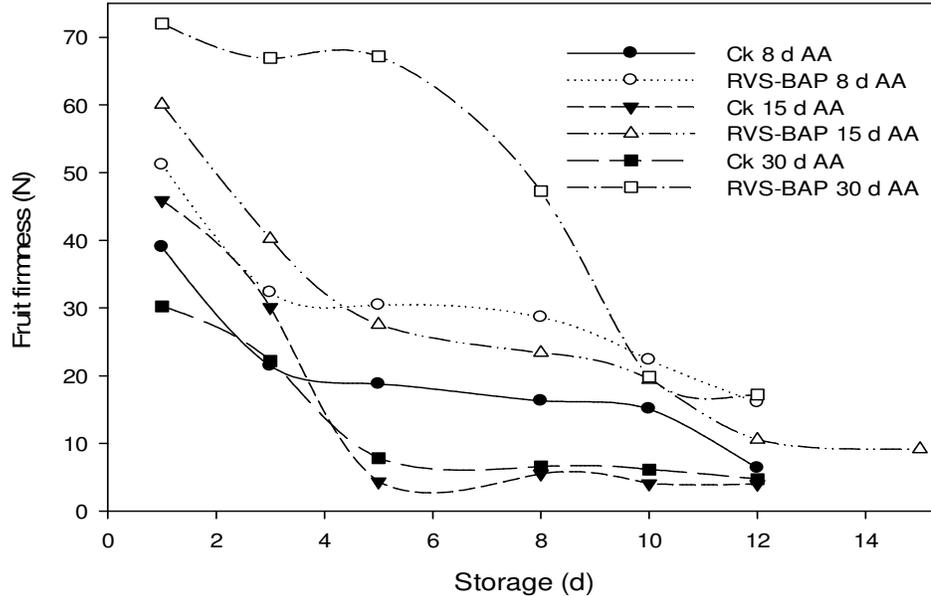


Figure 1. Fruit firmness in 'Bays' cherimoya sprayed in preharvest with 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine (RVS-BAP) or tap water (Ck) and harvested 8, 15 or 30 days after treatment application (d AA); and then stored at  $15 \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Data are the average of eight replications, one fruit per replication.

Similarly, Morales *et al.* (2014) determined higher hardness in fruit which longer period in the tree after application of RVS treatment; those authors hypothesized that as RVS might increase the lignification of cell wall, this effect was present in the RVS treated cherimoya, and it is possible that RVS effects remains nearly one month if the fruit remains in the tree. This report confirms all the previous observations indicated the beneficial effects of preharvest RVS-BAP sprays, particularly in increasing the fruit firmness, and suggest that only one application might be sufficient when working in a commercial orchard.

Although the fruit harvested 30 days after RVS-BAP treatment presented the higher fruit firmness, they lost, since 8 days in storage, the higher percent of fresh weight. This situation was observed also for this date control fruit (Figure 2). There was not difference in the rate of weight lost for control and RVS-BAP treated fruit harvested 8 and 15 days after spraying.

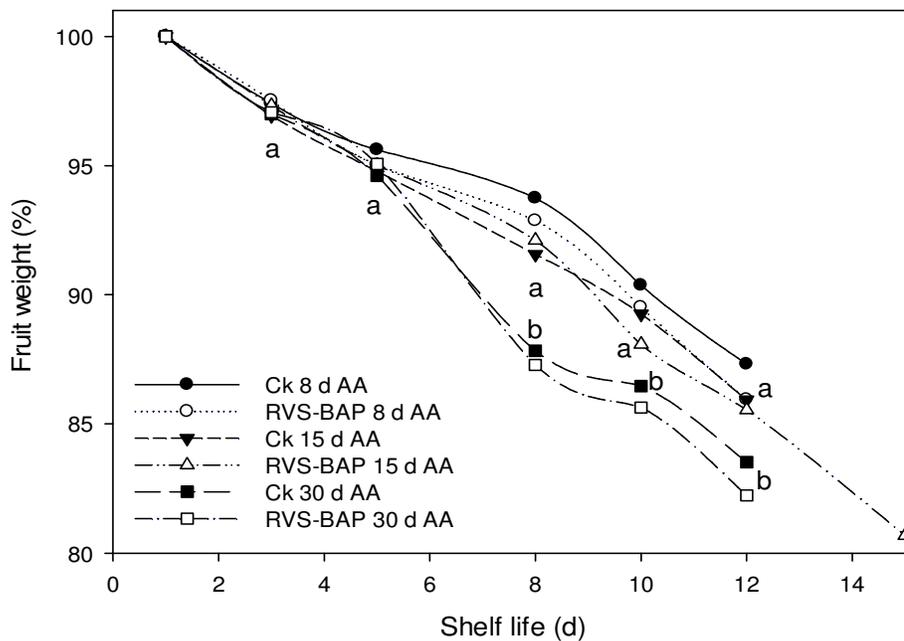


Figure 2. Fruit weight in 'Bays' cherimoya sprayed in preharvest with 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine (RVS-BAP) or tap water (Ck) and harvested 8, 15 or 30 days after treatment application (d AA); and then stored at  $15 \pm 3^\circ\text{C}$ . Data are the average of eight replications, one fruit per replication. Data with same letter implies not statistical difference with Tukey at  $p \leq 0.05$ .

It seems that the higher fruit firmness, generated by the 1.6 mM RVA and 1.0 mM BAP spraying, was not related to less fruit weight lost and longer shelf life at least in 'Bays' cherimoya fruits harvested 30 days after spraying. Nevertheless, an increment in the fruit firmness might enhance the marketing of this commodity.

In 'Bays' cherimoya fruit there was not noted a beneficial effect of RVS-BAP spraying in relation to peel color. Franco-Mora *et al.* (2015) observed 40 and 50 % of reduction in the rate of browning in cherimoya 'Ruth' and 'Fino de Jete', respectively; moreover, 35% of reduction in color lost rate was observed in cherimoya 'Fino de Jete' with the only application of 1.0 mM BAP (Morales *et al.*, 2015). In this research, the factor color L was related to the date of harvest; higher values were present in fruit harvested at 8 days after spraying, followed by 15 and finally 30 days after spraying (Figure 3). Factor a of color was not affected by RVS-BAP as reported previously (Franco-Mora *et al.*, 2015; Morales *et al.*, 2015), but by the harvest date. Fruits harvested 30 days after spraying increased these values more than the fruits harvested in the two other dates (data not shown).

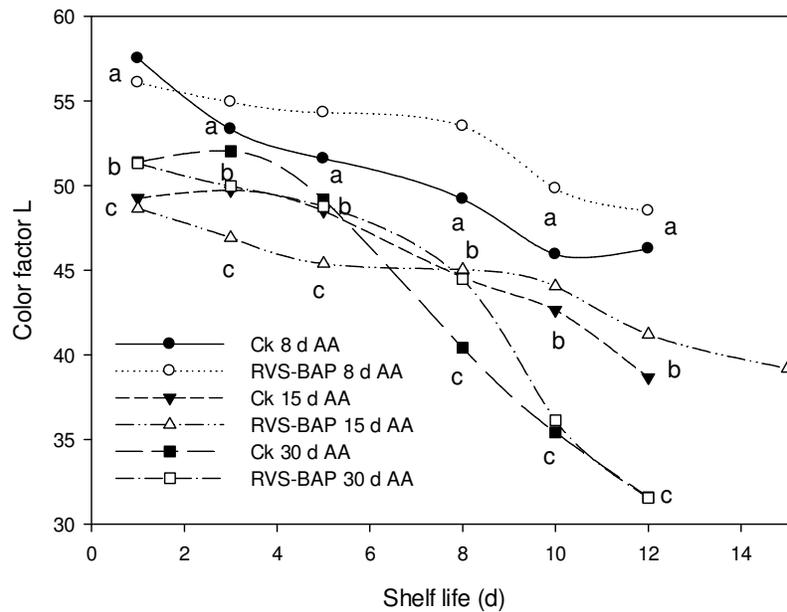


Figure 3. Kinetic of factor L of peel color in 'Bays' cherimoya sprayed in preharvest with 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine (RVS-BAP) or tap water (Ck) and harvested 8, 15 or 30 days after treatment application (d AA); and then stored at  $15 \pm 3^\circ\text{C}$ . Data are the average of eight replications, one fruit per replication. Data with same letter implies not statistical difference with Tukey at  $p \leq 0.05$ .

Sprays of 1.0 mM BAP or mixing 1.6 RVS and 1.0 mM BAP reduced peel browning in cherimoya 'Fino de Jete' and 'Ruth' when stored at room temperature and it was suggested conservation of chlorophyll. For cherimoya, 'Bays' it seems that chlorophyll was not maintained by RVs and BAP, and, moreover, that the peel color is dependent of the environmental conditions present or, maybe, accumulated, in the harvest date.

Content of total soluble solids at harvest was related to the harvest date fruits harvested 15 days after spraying were more sweetness than those harvested at 8 and 30 days. All the fruits presented acceptable accumulation of total soluble solids and at eight and 10 days after storage, those contents were similar for the fruit of the six treatments (Figure 4). As observed previously, RVS-BAP do not reduce fruit quality and only might retard the accumulation of total soluble solids as observed in those fruit sprayed 30 days previous harvest.

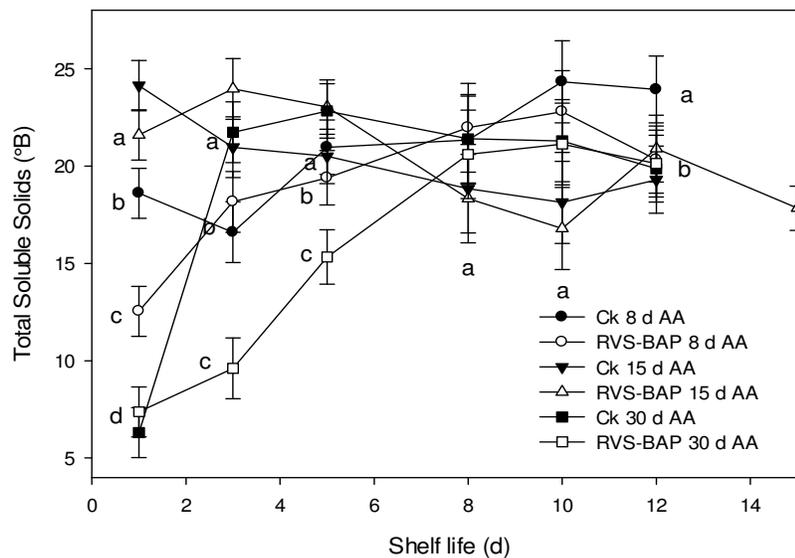


Figure 4. Kinetic of Total Soluble Solids (°B) in 'Bays' cherimoya sprayed in preharvest with 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine (RVS-BAP) or tap water (Ck) and harvested 8, 15 or 30 days after treatment application (d AA); and then stored at  $15 \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Data are the average of eight replications, one fruit per replication. Data with same letter implies not statistical difference with Tukey at  $p \leq 0.05$ .

#### **4.1.4. Conclusions.**

Spray of a solution containing 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine increased fruit firmness in cherimoya 'Bays' stored at  $15 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , in the fruits harvested within 8 and 30 days after spraying.

Application of 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine increased 3 days the postharvest life of cherimoya 'Bays' stored at  $15 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , only when harvested 15 days after spraying.

Non important changes in color, loss of fruit weight rate and content of total soluble solids were observed with the preharvest application of 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine in cherimoya 'Bays'. Those parameters were influenced by the harvest date.

One preharvest application of 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM 6-benzylaminopurine might increase postharvest potential in cherimoya.

## **4.2. Resveratrol y 6-bencil aminopurina reducen la pérdida de firmeza y color en poscosecha de guanábana (*Annona muricata* L.).**

J. Salomon-Castaño, O. Franco-Mora, A. Castañeda-Vildózola, J. M. Villarreal-Fuentes y J. R. Sánchez-Pale<sup>2</sup>

### **Resumen.**

Principalmente por su naturaleza climatérica, en guanábana existen pérdidas del 60% de la producción durante la comercialización. Así, se limita su consumo en fresco, por lo que se prefiere su transformación y se requieren alternativas poscosecha. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto poscosecha de la aplicación simultánea, en precosecha, de 1.6 mM de resveratrol (RVS) y 1.0 mM de 6-bencil amino purina (6-BAP) en frutos de guanábana del Soconusco, Chiapas, México. Se realizó la aplicación de RVS y 6-BAP a frutos de 12 árboles, 10 días antes de cosecha. Dichos frutos, una vez cosechados se almacenaron a  $18^{\circ}\text{C} \pm 2$  y se evaluaron variables relacionadas con el color, la firmeza, compuestos fenólicos y sólidos solubles totales. Los frutos tratados con RVS y BAP duraron 3 días más en almacenamiento que los frutos control. Además, RVS y BAP redujo (76%), solamente a los 5 días de almacenamiento, la tasa de pérdida de firmeza en relación al control (30%). La mayoría de los factores de color mostraron diferencias entre tratamientos a los 5 y 8 días de almacenamiento, sugiriendo menor pérdida de color verde y menor aparición de color marrón en la cáscara de los frutos a los que se aplicó RVS y BAP.

**Palabras clave:** Almacenamiento, climatérico, decaimiento, deshidratación, oscurecimiento.

## **Abstract.**

Due to soursop fruit climacteric behavior, the lost in fruit production is nearly 60% during marketing. Thus, its fresh consume is limited and its industrialization is preferred and alternatives for postharvest are needed. Objective of present work was to evaluate the postharvest effect of simultaneous effect of preharvest application of 1.6 mM resveratrol (RVS) and 1.0 mM 6-bencyl amino purine (BAP) in soursop fruit from the Soconusco, Chiapas, Mexico. RVA and BAP were sprayed to the fruit of 12 soursop trees, 10 days before harvest. Then, those fruits were storage at  $18^{\circ}\text{C} \pm 2$  and they were used to determine kinetic of color, peel firmness, content of phenolic compounds and content of total soluble solids. Fruits treated with RVS and BAP presented 3 days more of storage period in relation to control. Moreover, RVS and BAP reduced (76%), at day 5 of storage, la rate of fruit firmness loss in relation to control (30%). Generally, the color factors showed differences between treatments at 5 and 8 days in storage, it suggests less color green losing and less peel browning by the RVS and BAP application.

**Keywords:** Storage, climacteric, decay, dehydration, darkening

### **4.2.1. Introducción.**

El guanábano (*Annona muricata* L.) pertenece a la familia de las Annonaceas; es una especie originaria de las regiones tropicales de América del Sur y se encuentra distribuida en varios países del Caribe, Centroamérica, Sudamérica, sureste de China, Australia, África occidental e Islas del Pacífico (Cuadros, 2008). Actualmente,

México es el mayor productor de esta fruta, siendo los estados de Nayarit, Colima, Veracruz y Guerrero los de mayor producción y número de hectáreas cultivadas (Evangelista-Lozano *et al.*, 2003; SAGARPA, 2011). El fruto es de forma irregular, presenta residuos estilares espiniformes y su tamaño es relativamente grande, lo cual hace difícil su manipulación y predispone daños mecánicos en la poscosecha (Ploetz, 2003) Así, la manipulación mecánica durante la cosecha y transporte, más la presencia de enfermedades generan pérdidas de hasta 60% de la producción (SAGARPA, 2011), limitando su consumo en fresco. Por otra parte, los frutos son de naturaleza climatérica; durante la etapa de maduración, posee ciclos de respiración y producción de etileno altos y variables (Bruinsma y Paull, 1984); por lo que la vida de anaquel es relativamente corta, entre 6 a 9 días después de la cosecha (Pareek *et al.*, 2011). En este periodo, ocurren cambios físicos, químicos y bioquímicos que provocan el deterioro de la calidad; principalmente oscurecimiento de la cáscara, ablandamiento excesivo de la misma, lo que ocasiona ruptura por su propio peso y el ataque de hongos (Ploetz, 2003). Actualmente, los métodos o tecnologías poscosecha disponibles para guanábana son capaces de extender la vida de anaquel por aproximadamente 9 días. La cadena en frío es una alternativa para la conservación de productos frescos, sin embargo, la guanábana al ser un fruto tropical, es susceptible a daños por frío cuando se somete a temperaturas inferiores a 15°C (Reginato y Lizana, 1980). Castillo *et al.* (2005) reportan que, con la aplicación de ceras, ácido giberélico y éster isopropílico del ácido 2,4-diclorofenoxiacético no se evitó el daño por frío en guanábanas cosechadas en dos estados de madurez y almacenadas a temperaturas menores de 18°C. Por otro lado, Lima *et al.* (2010) mencionan que la aplicación de 200 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP a frutos

de guanábana y almacenados a 15°C no prolongó la vida de anaquel por más de 8 días. El uso de ceras en combinación con 1-MCP ha reducido la pérdida de firmeza y aumentado el contenido de sólidos solubles totales (SST) (Lima y Alves, 2011). La evaluación de las aplicación de emulsiones de cera de carnauba tipo III, carnauba con aceites siliconados y candelilla más 1-MCP mostraron que estas combinaciones no retrasaron la maduración de la guanábana; sin embargo, disminuyen la pérdida de peso, alcanzando la madurez organoléptica a los 15 días de almacenamiento (Tovar-Gómez *et al.*, 2011), mantienen la calidad nutricional de los frutos (Moreno *et al.*, 2014) y conservan la calidad de los frutos de guanábana de 14 a 15 días a 16°C (Montalvo *et al.*, 2014).

En la búsqueda de alternativas para mejorar la vida poscosecha de productos hortícolas se ha empleado la aplicación de hormonas y reguladores de crecimiento, entre ellos, la 6-bencil amino purina (BAP) que promueve división y elongación celular. BAP está involucrado en el control y regulación de la maduración de los frutos (Giovannoni, 2001) y limita la degradación de pigmentos y proteínas fotosintéticas, mantiene el equilibrio hídrico de tejidos vegetales (Costa *et al.*, 2005; Zavaleta-Mancera *et al.*, 2007). En poscosecha de brócoli (*Brassica oleracea*), BAP disminuyó la tasa de respiración y retrasó el amarillamiento de la inflorescencia (Zhu *et al.*, 2004; Zaicovski *et al.*, 2008). También retuvo la clorofila y la deshidratación en la cáscara durante la maduración en plátano (*Musa paradisiaca*) (Aghofack y Manka'abiengwa, 2012).

Por otro lado, resveratrol (RVS) es una fitoalexina y constituye uno de los 300 salvestroles de las plantas. Reportes indican que incrementa la calidad sensorial,

vida de almacenamiento y calidad nutricional en frutos de manzana (*Malus comunis* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.), tomate (*Solanum lycopersicum*), pimiento (*Capsicum annuum*), fresa (*Fragaria vesca*) y uva (*Vitis vinifera*) (Jimenez *et al.*, 2005). En mandarina (*Citrus unshiu*), RVS conservó el color de la cáscara durante 12 semanas a 10°C (Cherukuri, 2007). Morales *et al.* (2014) indicaron que la aplicación de RVS a 8 y 15 días antes de la cosecha a frutos de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.), 'Fino de Jete' y 'Bronceada', redujo la tasa de ablandamiento durante 15 días de almacenamiento. El uso simultáneo de RVS y BAP en poscosecha fue reportado por Franco-Mora *et al.* (2015), observando que la pérdida de color, firmeza y peso de chirimoya fueron menores en comparación con el control durante 15 días. Por ello, el objetivo de este trabajo fue reducir la pérdida de firmeza y cambios de color en frutos de guanábana mediante la aplicación precosecha simultánea de 1.0 mM de resveratrol y 1.0 mM de 6-bencil amino purina.

#### **4.2.2. Materiales y métodos.**

Se preparó una solución que contenía la mezcla de 1.6 mM de RVS (Laboratorios Lemi) y 1.0 mM de BAP (SIGMA), se aplicó la solución a los frutos de 12 árboles de guanábano, 10 días antes de la cosecha, en un huerto comercial de la finca "La Libertad", ejido 26 de octubre, municipio de Tapachula, estado de Chiapas, México. Pasados los diez días de la aplicación, los frutos se cosecharon en madurez fisiológica y se trasladaron al Laboratorio de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chiapas. Se seleccionaron 60 frutos homogéneos, en cuanto a color y firmeza, se dividieron en dos grupos de 30 frutos por tratamiento. Así, los frutos

fueron almacenados a 18°C, y a los 1, 5, 8 y 11 días después de la cosecha (DDC) se midió color, peso, firmeza y sólidos solubles totales (SST); de los frutos empleados, se conservó pulpa a -20°C y posteriormente, dichas muestras se trasladaron al Laboratorio de Horticultura de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, donde se determinó contenido de compuestos fenólicos. Para cada uno de los muestreos se emplearon siete repeticiones por tratamiento, un fruto por repetición.

#### **4.2.2.1. Firmeza.**

La firmeza de cáscara se evaluó con un penetrómetro Chatillon modelo DFE-050, con una probeta de puntal cónico de 0.7 cm de diámetro, penetrando 5 mm de profundidad a 5 mm/s en 3 diferentes puntos del área de los frutos; los resultados se reportaron en Newtons (N). Cuando al hacer la determinación de firmeza, el fruto presentaba daños mecánicos, se determinó el fin del almacenamiento.

#### **4.2.2.2. Color.**

Se determinó sobre la cáscara del fruto con un equipo Color X-rite programado con tres disparos por fruto en diferentes áreas de la cáscara. Los valores reportados son en escala de CIELab (L, a\*, b\*, c y h). El índice de color (IC) fue calculado con la siguiente fórmula:  $[(a^* \times 1000) / (L \times b^*)]$ , según Thompson (1998) citado por García *et al.* (2011).

#### **4.2.2.3. Sólidos solubles totales.**

Se tomó una pequeña porción de la pulpa de guanábana y se incorporaron 3 gotas de jugo de manera directa al refractómetro SPER SCIENTIFIC 300034. Los resultados fueron expresados en grados brix (°Brix).

#### **4.2.2.4. Compuestos fenólicos.**

Se pesaron 2 g de pulpa de guanábana, macerada con 40 ml de alcohol al 80%, dicha solución fue sometida a baño maría, por 5 minutos, se dejó enfriar a temperatura ambiente, se filtró y guardó en botellas pequeñas de plástico de 15 ml, y se almacenaron a -20°C por no más de 48 h. Para la determinación de los compuestos fenólicos se utilizó el método de Folín-Ciocalteu descrito por Waterman y Mole (1994). Los resultados fueron expresados en miligramos de equivalentes de ácido tánico por gramo de peso fresco (mg EAT g<sup>-1</sup> PF).

#### **4.2.2.5. Análisis estadístico.**

Todas las pruebas se llevaron a cabo bajo un diseño completamente al azar. Se realizó la prueba t de student a un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ . Las salidas se realizaron con el software SPSS (Statistical Package Social Science) versión 2012 y las gráficas se elaboraron con el paquete Sigma Plot 2010.

### **4.2.3. Resultados y discusión.**

#### **4.2.3.1. Periodo de almacenamiento.**

Los frutos tratados con RVS y BAP tuvieron tres días más de almacenamiento en relación a los frutos control (Figura 1). Este efecto ha sido reportado con el almacenamiento a 16°C, sin embargo, dicha temperatura de almacenamiento

generó daños por frío (Espinoza *et al.*, 2013). Por otro lado, aunque la aplicación de 1-MCP amplió hasta 7 días más la conservación de la guanábana, la ventaja de la aplicación de RVS y BAP es la facilidad de aplicación ya que puede adaptarse a la aplicación con mochila aspersora (Salomón-Castaño *et al.*, 2020).

#### **4.2.3.2. Firmeza.**

Con la aplicación simultánea de RVS y BAP la firmeza de cáscara fue mayor ( $p \leq 0.05$ ) que en los frutos control en los días 5 y 8 de almacenamiento. Al día 5 después de cosecha, los frutos control habían perdido 76% de la firmeza inicial, mientras que en los tratados con RVS y BAP mostraron pérdida del 30%. Sin embargo, a los 8 días de almacenamiento y con la continua tendencia decreciente de la firmeza en los frutos de ambos tratamientos, la pérdida de firmeza fue de 90% para el control y 87% para los tratados con los biorreguladores (Figura 5). Resultados similares son reportados por Espinoza *et al.* (2013), guanábanas tratadas con 1-MCP presentaron alrededor de 100 N de diferencia con el control en los días 5 y 6 de almacenamiento, pero a partir del séptimo día y hasta terminar su vida pos cosecha ya no hubo diferencia estadística. De manera similar a este trabajo, los datos de Márquez *et al.* (2012) y Espinoza *et al.* (2013) indican valores cercanos a 5 N para los días finales de almacenamiento de la guanábana.

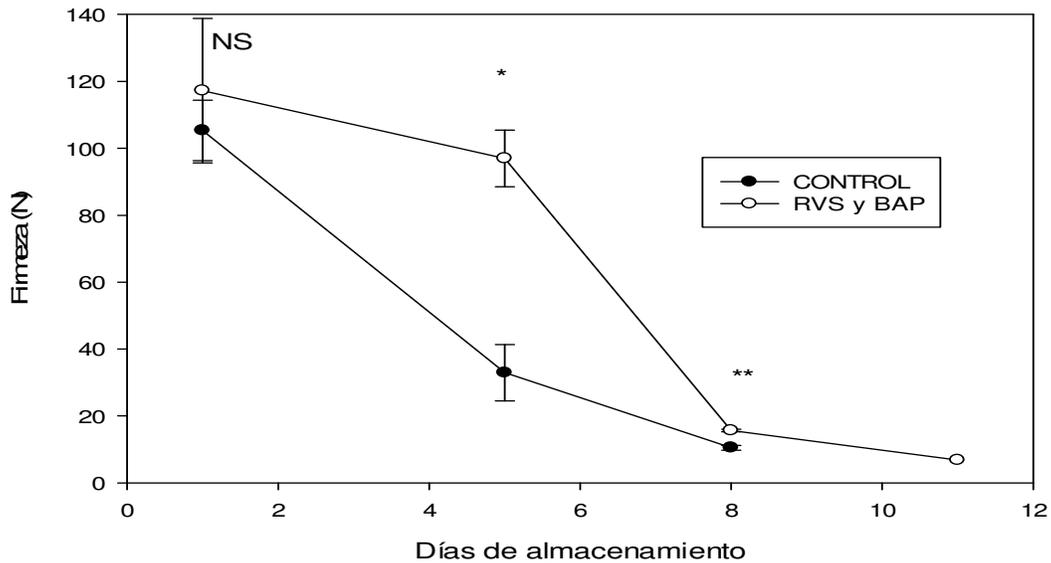


Figura 5. Cinética de la firmeza de cáscara en poscosecha de frutos de guanábana con aplicación precosecha simultánea de 1.6 mM resveratrol y 1.0 mM 6-bencil amino purina y almacenamiento a  $18^{\circ}\text{C} \pm 2$ . Los datos son la media de 7 repeticiones, un fruto por repetición  $\pm$  EE. NS, no significativo; \* significativo con la prueba t de student a 0.05; \*\* significativo con la prueba t de student a 0.01.

En guanábana se ha determinado que el rápido ablandamiento de los frutos durante la maduración, coincide con la mayor actividad de la amilasa, pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y la  $\beta$ -galactosidasa de la pared celular (Lima *et al.*, 2006). En este sentido, la reducción en la tasa de ablandamiento de 2 cultivares de chirimoya por la aplicación precosecha de RVS y BAP se atribuyó, al menos en parte, a la disminución de la actividad de la  $\beta$ -galactosidasa y al retraso de la actividad de la poligalacturonasa en relación a los frutos control (Franco-Mora *et al.*, 2015). Los

conocimientos previos generados en poscosecha de anonáceas, parecen poder explicar el menor ablandamiento del fruto de guanábana del Soconusco, Chiapas por la aplicación de RVS y BAP. La disminución o retraso en la actividad de las enzimas degradadoras de la pared celular, permiten la conservación de la integridad de las células y además, el RVS además está relacionado con la lignificación de la pared celular (Van Buren, 1986; Morales *et al.*, 2016). Limitar o retrasar el ablandamiento de la guanábana en poscosecha puede aumentar la posibilidad de su manejo, transporte y comercialización, reduciendo los altos porcentajes de pérdida económica durante la etapa poscosecha de este fruto (Espinoza *et al.*, 2013).

#### **4.2.3.3. Luminosidad (L).**

El efecto ( $p \leq 0.05$ ) de la aplicación de RVS-BAP en frutos de guanábana sobre la luminosidad de la cáscara durante el periodo de almacenamiento se observó al día 8 de almacenamiento; los frutos tratados con RVS y BAP redujeron 5% de su valor inicial, mientras que los frutos control descendieron 8% del valor presentado al inicio del almacenamiento (Tabla 1).

**Tabla 1.** Coordenadas e índice de color en frutos de guanábana tratados en precosecha con 1.6 mM de resveratrol (RVS) y 1.0 mM de 6-bencil amino purina (BAP) durante almacenamiento poscosecha a de 18°C ± 2.

Coordenada Color	Día 1			Día 5			Día 8			Día 11	
	Control	RVS BAP		Control	RVS BAP		Control	RVS BAP		Control	RVS BAP
<b>L</b>	40.7	40.6	NS	40.4	40.3	NS	37.6	38.4	*	NA	38.3
<b>a*</b>	-11.4	-12.4	NS	-10.4	-9.8	*	-7.0	-9.8	**	NA	-9.1
<b>C</b>	20.1	21.6	NS	19.5	18.9	*	15.4	18.9	**	NA	18.0
<b>h</b>	110.1	110.0	NS	106.0	109.5	**	105.0	109.2	*	NA	106.6
<b>IC</b>	-19.3	-20.4	NS	-17.3	-19.4	**	-15.5	-18.9	*	NA	-17.4

Los datos son la media de 7 frutos, tres lecturas por fruto. NS, no significativo, \* significativo al 0.05; \*\* significativo al 0.01 con la prueba t de student. NA, sin datos.

Jiménez-Zurita *et al.* (2016) mencionaron que el color en cáscara del fruto de guanábana del estado de Nayarit, México, al momento de la cosecha presentó valores L de 30.2 y 45.8. Márquez (2009) menciona que la luminosidad de la epidermis en frutos decrece ligeramente durante los primeros 5 días de almacenamiento, posterior a este, inicia un notable aceleramiento en la pérdida de luminosidad, período que corresponde a la etapa de sobre madurez e inicio de la senescencia de las frutas, mismo que se hace visible con el oscurecimiento de la cáscara.

#### **4.2.3.4. a\*.**

Para el factor a\* del color, a los 5 y 8 días después de cosecha, se presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), pero en cada día, uno de los dos tratamientos tuvo el mayor valor (Tabla 1). En la última fecha, los frutos control se acercaron a valores menos negativos de a\*, implicando pérdida del color verde de la cáscara. En tal sentido, se aprecia que la aplicación de RVS y BAP generó estabilidad en el tono verde de la cáscara después del día 5 de cosecha. Esta estabilidad es importante, ya que como indicó Márquez (2009), generalmente los frutos de guanábana al final de su periodo poscosecha alcanzan valores positivos del factor a\*. De la misma manera, la aplicación de BAP y RVS redujo la pérdida de color verde y amarillo en la cáscara de chirimoya 'Fino de Jete' y 'Ruth' (Franco-Mora *et al.*, 2015); en dicho trabajo, se indicó que, de acuerdo a la literatura, esta reducción se debe más a BAP que a RVS, ya que previamente, RVS aplicado de manera única no había mantenido la tonalidad verde de la cáscara de chirimoyas (Morales *et al.*, 2014). Complementando esta idea, en la cáscara de banano, la aplicación de BAP redujo la pérdida de clorofila, manteniendo el color verde por mayor tiempo, al disminuir la actividad de la clorofilasa (Yang *et al.*, 2009; Aghofack-Nguemezi y Manka'abiengwa, 2012).

#### **4.2.3.5. C (croma).**

En los días 5 y 8 existió diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) para el factor C de color; aunque existió pérdida de cromaticidad en ambos tratamientos, ésta fue mayor en el control en el día 8, pero no en el 5. Esto se debió a que en los frutos tratados con

RVS y BAP, el decrecimiento de cromaticidad sólo fue hasta el día 5; pero dicho día, la disminución fue mayor (13%) que el observado en los frutos control (3%). Al día 8 de almacenamiento, en el control disminuyó 23% el croma con respecto al valor de cosecha y en los frutos tratados con RVS-BAP se mantuvo los valores registrados en el día 5 (13%). Al final del periodo de almacenamiento (día 11), en los frutos tratados con RVS-BAP se registró disminución total de 16.8% con respecto al valor C inicial. Lima *et al.* (2003) mencionan que, en guanábana, la pérdida en los factores de color, entre ellos C, puede ser atribuida a la degradación de la clorofila por acción enzimática, por lo que se sugiere una acción antagonista a la clorofilasa por los biorreguladores aplicados en este trabajo (Aghofack-Nguemezi y Manka´abiengwa, 2012), particularmente de BAP.

#### **4.2.3.6. Hue (h).**

Los valores para hue de la guanábana del Soconusco Chiapas (110-116), están por debajo de los reportados para Nayarit (151.7-164.9) (Jiménez-Zurita *et al.*, 2016) y similares a los reportados en Morelos, 110 (Evangelista-Lozano *et al.*, 2003). Diferencias en los parámetros de color pueden deberse a los diferentes materiales evaluados y las condiciones edafoclimáticas bajo las cuales se desarrolla el fruto. Para este trabajo, el efecto de RVS y BAP en la cáscara también fue observado sobre la variable h; a los días 5 y 8 de almacenamiento poscosecha, los frutos control disminuyeron sus valores mientras los frutos con RVS-BAP prácticamente los mantuvieron.

La pérdida de color verde de la cáscara es uno de los cambios visibles y notorios de la maduración de guanábana como consecuencia de la degradación de la

clorofila y la descomposición del cloroplasto que libera polifenol oxidasas, lo que provoca la oxidación y polimerización de los fenoles (Paull *et al.*, 1983).

#### **4.2.3.7. Índice de color (IC).**

En los frutos control, a medida que avanza el proceso de maduración, se incrementó el índice de color. Sin embargo, en los frutos con RVS y BAP dicho índice se mantuvo en los primeros 8 días de almacenamiento, y aunque posteriormente aumentó, 11 días de almacenamiento, no alcanzó los niveles de los frutos control. Hasta nuestro conocimiento, el índice de color no ha sido reportado para frutos de guanábana; sin embargo, con base en la escala propuesta por Vignoni *et al.* (2006), los resultados observados en el almacenamiento poscosecha clasifican a los frutos control en “verde profundo” al inicio, cambiando al finalizar a “verde amarillento” (valores de IC de -20 a -2), mientras que el uso de RVS y BAP conservó el color verde inicial característico de frutos de guanábana, manteniendo este criterio de calidad.

#### **4.2.3.8. Compuestos fenólicos.**

Al día 5 de almacenamiento poscosecha hubo disminución del contenido de compuestos fenólicos, en ambos tratamientos, y posteriormente aumentó en diferente proporción, lo cual generó diferencia estadística a los 8 días de almacenamiento. Mientras los frutos control aumentaron su nivel de fenoles, regresando prácticamente a su nivel del corte; los frutos tratados con RVS-BAP prácticamente mantuvieron los niveles del día 5, durante los días 8 y 11 de almacenamiento (Figura 6).

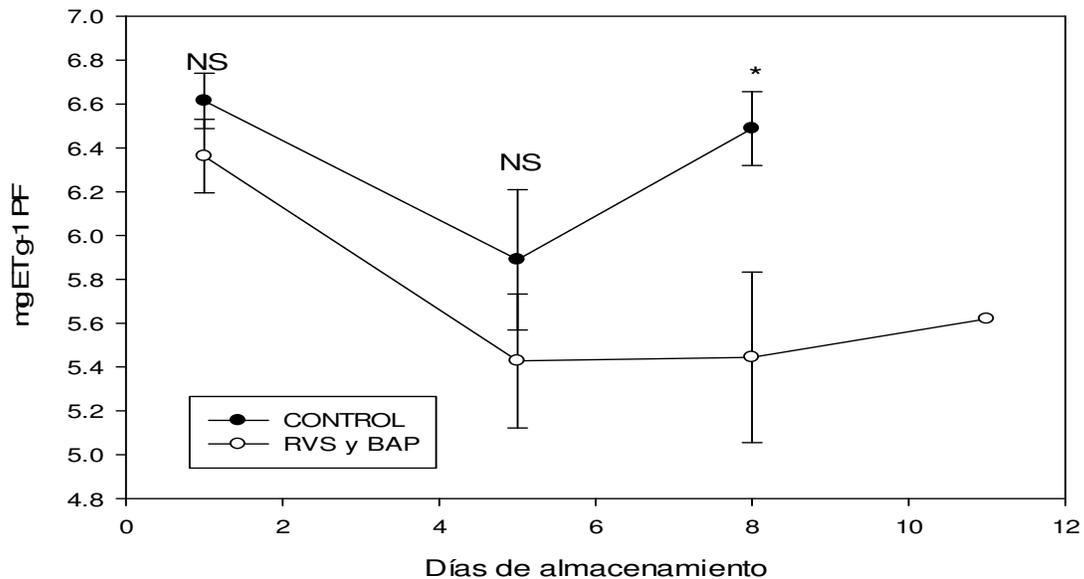


Figura 6. Cinética del contenido de compuestos fenólicos en poscosecha de frutos de guanábana con aplicación precosecha simultánea de 1.6 mM de resveratrol (RVS) y 1.0 mM de 6-bencil amino purina (BAP) y almacenamiento a  $18^{\circ}\text{C} \pm 2$ . NS, no significativo; \* significativo con la prueba t de student a 0.05. Los datos son la media de 7 repeticiones, un fruto por repetición  $\pm$  EE.

La concentración de los compuestos fenólicos depende de factores cómo cultivar, estacionalidad, condiciones vegetativas (especialmente el contenido de nutrimentos y la intensidad de la energía solar), estado de salud de la fruta, madurez de la fruta y, además pueden estar involucrados con procesos de lignificación o deslignificación de las paredes celulares (Julian, 2009). En este caso, la mayor concentración fenólica en frutos control, a 8 días de almacenamiento, coincide con su último día de anaquel y corresponde a los menores valores de IC y L, sugiriendo

su relación con cambios de color en la cáscara, posiblemente por oxidación (Paull *et al.*, 1983).

#### **4.2.3.9. Sólidos solubles totales (SST).**

Para SST la aplicación simultánea en precosecha de RVS y BAP no mostró diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) con respecto al control al momento del corte. Sin embargo, el efecto de estos biorreguladores se observó durante el resto del periodo de almacenamiento. Para los días 5 y 8 de almacenamiento, los frutos control presentaron mayor contenido de SST que los frutos tratados con RVS y BAP. Al final de 11 días de almacenamiento, los frutos tratados con RVS y BAP no alcanzaron 16°Bx, contenido que se presentó a los 8 días en los frutos control (Figura 7). La aplicación únicamente de RVS limitó características como pérdida de firmeza de cáscara y pulpa en chirimoya 'Fino de Jete', pero no influyó en el contenido de SST. En el caso de las guanábanas de este trabajo, la menor pérdida de color, si estuvo acompañada con menor producción de SST, lo cual puede indicar una menor tasa de maduración y senescencia en los frutos tratados con RVS y BAP en relación a los frutos control (Martínez-González *et al.*, 2017)

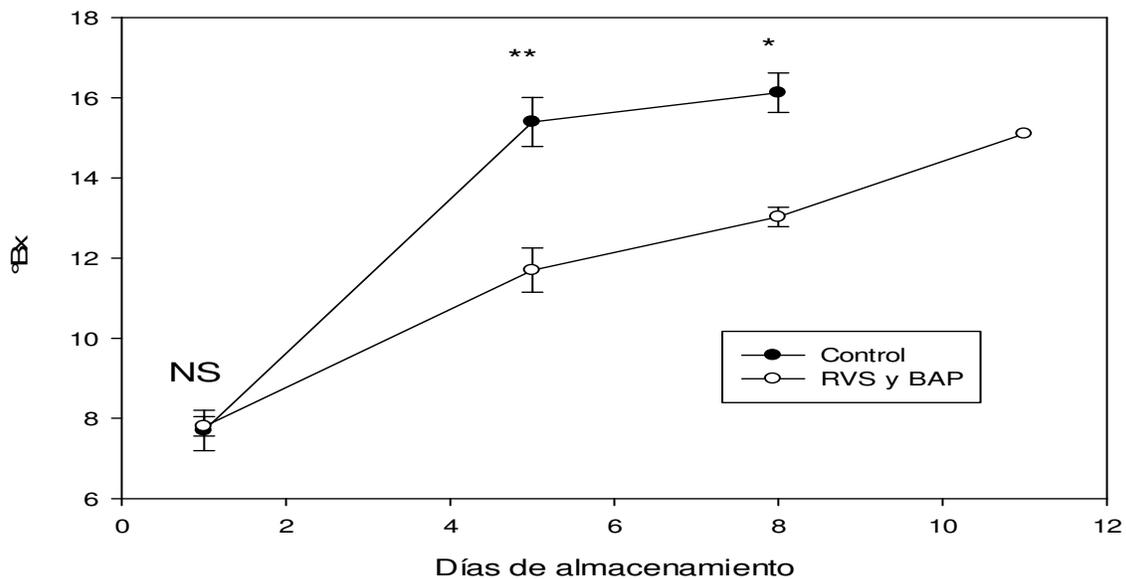


Figura 7. Cinética de los sólidos solubles totales en poscosecha de frutos de guanábana con aplicación precosecha simultánea de resveratrol (RVS) y 6-bencil amino purina (BAP) y almacenamiento a  $18^{\circ}\text{C} \pm 2$ . NS, no significativo; \* significativo con la prueba t de student a 0.05; \*\* significativo con la prueba t de student a 0.01. Los datos son la media de 7 repeticiones, un fruto por repetición  $\pm$  EE.

#### 4.2.4. Conclusiones.

La aplicación simultánea, 10 días antes de la cosecha, de 1.6 mM de resveratrol y 1.0 mM de 6-bencil amino purina a frutos de guanábana aumentó la vida de anaquel, a  $18^{\circ}\text{C}$ , por 3 días en relación a frutos control. Esta combinación de biorreguladores vegetales redujo la pérdida de firmeza, reflejado principalmente al día 5 de almacenamiento. La evolución del color de los frutos fue afectada significativamente por la combinación de resveratrol y 6-bencil amino purina; de manera general, las coordenadas de color (L, \*a, C y h) mantuvieron sus valores de cosecha durante los 11 días de almacenamiento, presentando diferencias estadísticas con los frutos

control después del día 5. El índice de color en los frutos tratados en precosecha con los bioreguladores se mantuvo por debajo de los valores registrados en frutos control, estos últimos se caracterizaron por cambios de color en la cáscara, de verde intenso a marrón en la etapa final del almacenamiento (día 8 y 11). Además, los frutos tratados con resveratrol y 6-bencil amino purina tuvieron variación del 7% con respecto al valor inicial del índice de color, mientras que en frutos control el cambio fue de 20%. Los frutos tratados con bioreguladores, no alcanzaron los niveles máximos observados en los frutos control para contenido de sólidos solubles totales.

### **4.3. Conservación de la calidad poscosecha de ilama (*Annona diversifolia* Saff.) mediante un recubrimiento comestible.**

#### **Resumen**

El fruto de ilama (*Annona diversifolia*) por su naturaleza climatérica es altamente perecedero y de difícil manejo poscosecha. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar el empleo de un recubrimiento comestible para conservar la calidad poscosecha en frutos de ilama almacenados a tres diferentes temperaturas. Los frutos con recubrimiento y almacenados en congelación preservaron las características de calidad de los frutos ( $p \leq 0.05$ ). El peso en frutos recubiertos y sin cubrir en congelación se mantuvo (100%); en refrigeración permaneció 94% en frutos recubiertos y 74% en frutos sin recubrir. Para firmeza de cáscara, los frutos recubiertos y en almacenados en congelación mantuvieron 100% de la firmeza durante los 13 días. En ambiente, al día 4 de almacenamiento, la pérdida de que? fue de 93% en frutos no recubiertos y 28% los recubiertos. De la misma manera, la firmeza de la pulpa en congelación se mantuvo hasta final de la evaluación (44.6 N); mientras que al día 4 de almacenamiento en temperatura ambiente, los frutos sin cobertura disminuyeron 80% y los cubiertos 59%. Para índice de color (IC) los frutos almacenados en congelación y recubiertos mantuvieron los valores de esta variable al día 4 (-10.7 a 7.05 a) y a -2.4 día 9 y -1.8 al día 13. En los frutos sin cubrir el IC aumentó de -10.7 a 28.2 en el mismo periodo bajo las mismas condiciones. En refrigeración y recubiertos 14.2 y el sin cubrir 27.6. Para SST, los frutos no recubiertos y almacenados a temperatura ambiente registraron 24.8°Bx y los recubiertos 22.9°Bx desde el día 4 de almacenamiento. En refrigeración, los

frutos sin recubrir presentaron 23.2°Bx y 21.4°Bx los frutos con recubrimiento, en la misma fecha de almacenamiento??. Para los frutos en congelación, al termino de XX día, los no recubiertos registraron 15.6°Bx y 15.8°Bx los recubiertos. Para respiración, los frutos almacenados en congelación presentaron dos puntos máximos de respiración de 17.2 y 17.6 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> al día 3 y al día 9. Y los otros dos tratamientos de temperatura??.

#### **4.3.1 Introducción.**

La ilama (*Annona diversifolia*) es una especie tropical del genero *Annona* que pertenece a la familia Anonácea, nativa del suroeste de México, Guatemala y el Salvador (Duke y duCellier, 1993; Pinto *et al.*, 2005). Es un frutal subcaducifolio que se puede encontrar de forma silvestre o en huertos familiares con plantas provenientes de semilla, sin manejo agronómico, por lo que es considerada como planta de recolección (Otero-Sánchez *et al.*, 2006). En México, su cultivo y comercialización está limitado a las regiones donde crece de manera silvestre y únicamente se comercializa en fresco. Se produce en los estados Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Veracruz y Tabasco (Chávez *et al.*, 1999). Por forma y tamaño, los frutos se asemejan a la chirimoya; botánicamente los frutos son agregados, indehiscentes y pubescentes con pulpa de color rosa o blanco con peso que va de 500 a 900 g (Moreno-Velázquez *et al.*, 2008). Generalmente, la cáscara es de color verde o rosado-púrpura, con pulpa blanca o rosada según el ecotipo. Sus frutos son considerados de gran importancia a nivel local por sus atractivas características sensoriales, por lo que son apreciados y tienen un valor comercial importante con potencial para su

aprovechamiento en fresco o procesamiento (FAO, 1992). Los frutos son cosechados cuando se agrietan por la base del pedúnculo, considerado como un indicativo de madurez de consumo. Sin embargo, por la naturaleza climatérica del fruto, éste es altamente perecedero, de difícil manejo poscosecha ya que presenta baja firmeza, incremento de metabolismo, es susceptible a daños mecánicos y por el agrietamiento que presenta al ser cosechado, expone la pulpa, siendo proclive a pudriciones. Existen escasas alternativas de tratamientos poscosecha, y, en ese sentido, el periodo de anaquel no es mayor a 3 días (Chávez *et al.*, 1999).

Moreno *et al.* (2008) mencionan que el uso de AM en frutos de ilama almacenados a 20 °C redujo las velocidades de pérdida de peso y ablandamiento, no afectando la respiración, ni modificando la concentración de SST, acidez y azúcares totales, pero aumentando el contenido de azúcares reductores. Dentro de las alternativas viables para la preservación de la calidad de productos frescos se encuentran los RC a base de polímeros naturales biodegradables que permita ofrecer alimentos naturales, seguros y manteniendo sus características nutricionales. Estos, actúan como barrera al oxígeno, dióxido de carbono y etileno, reducen la transpiración, disminuyen los daños por manipulación, procesos oxidativos y microorganismos en frutas y hortalizas (De Ancos *et al.*, 2015). También, uno de los métodos comúnmente usados para extender la vida útil de frutas frescas y vegetales es la refrigeración, ya que retarda los procesos metabólicos en la respiración y maduración, controlando los cambios durante la etapa poscosecha. La temperatura, humedad relativa y la composición atmosférica son factores que determinan la velocidad con la que ocurre la pérdida de calidad en la etapa poscosecha

relacionado con la afectación de apariencia, color, olor y sabor. Como alternativa a estos métodos de conservación, se tiene a los RC utilizando bajas temperaturas pueden reducir la velocidad de deterioro en la calidad de los frutos durante su almacenamiento (Xu *et al.*, 2001). Por lo que es necesario evaluar y ofrecer técnicas o metodologías que contribuyan a extender el tiempo de vida de anaquel en frutos de ilama y, con ello, potencializar el comercio a mercados distantes con valor agregado. En este sentido, el objetivo de esta investigación fue evaluar el empleo de un recubrimiento comestible para conservar la calidad poscosecha en frutos de ilama almacenados a tres diferentes temperaturas.

#### **4.3.2. Materiales y métodos.**

Se colectaron frutos de ilama en madurez de consumo en el “Cerro de los Nopales”, en la comunidad de San Francisco, municipio de Tejupilco, Estado de México. Fueron trasladados al laboratorio de Horticultura de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex para aplicar un recubrimiento comestible y posteriormente fueron almacenados a temperatura ambiente (20-23°C), refrigeración (4°C) y congelación (0°C). Con intervalo de 3 días, se evaluó firmeza de cáscara, firmeza de pulpa, respiración, pérdida de peso, índice de color (IC) sólidos solubles totales (°Bx), acidez titulable, compuestos fenólicos. Para cada una de las variables evaluadas se realizó el análisis por triplicado, un fruto por repetición.

##### **4.3.2.1. Aplicación de recubrimiento.**

A los frutos se aplicó con una brocha el RC a base pectina de tejocote (*Crataegus mexicana* DC.) (Martínez *et al.*, 2020) hasta cubrirlos completamente. Se dejaron

secar en bandejas con aplicación de aire a temperatura y condiciones ambientales normales durante 30 minutos para posteriormente almacenarlos a temperatura ambiente, refrigeración y congelación con su respectivo control en cada condición de almacenamiento.

#### **4.3.2.2. Pérdida de peso.**

La pérdida de peso se determinó utilizando una balanza semianalítica. Se estableció el peso del día de llegada al laboratorio como el 100%, posteriormente la pérdida se registró en porcentaje (%) durante el periodo de almacenamiento.

#### **4.3.2.3. Firmeza de cáscara y pulpa.**

La firmeza de cáscara y pulpa fue evaluada con un texturómetro TA.XT. Plus de Stable micro systems, con una punta probeta cilindro p/4SSE de 4 mm de diámetro. Con un software de Stable micro sistema Exponent. A una velocidad de 2 mm por segundo. Los resultados se reportaron en Newtons (N).

#### **4.3.2.4. Índice de color (IC).**

El IC se determinó con un fotolorímetro Konica Minolta realizando tres “disparos” en diferentes zonas alrededor del fruto. El índice de color (IC) fue calculado con la siguiente formula:  $[(a^* \times 1000) / (L^* \times b^*)]$ , según Thompson (1998) citado por García *et al.* (2011).

#### **4.3.2.5. Sólidos solubles totales.**

Se midieron con un refractómetro Atago. Se utilizó entre 2 a 3 gotas de jugo extraída de la pulpa, empleando agua destilada para calibrar el equipo. Los valores fueron expresados en grados Brix (°Bx).

#### **4.3.2.6. Acidez titulable.**

La acidez titulable se determinó mediante el método de titulación con una solución valorada de hidróxido de sodio (AOCS, 2009). Los valores se expresaron como porcentaje de ácido málico.

#### **4.3.2.7. Compuestos fenólicos.**

Para la determinación de compuestos fenólicos se utilizó el método Folin Ciocalteu descrito por Waterman (1994) citado por Franco-Mora (2000). Los resultados fueron expresados en mg de equivalentes de ácido tánico por gramo de peso fresco (mg EAT g<sup>-1</sup> PF).

#### **4.3.2.8. Análisis estadístico.**

Todas las pruebas se llevaron a cabo bajo un diseño completamente al azar, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para todas las variables y cuando el valor de F fue significativo se hizo la comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ . Las salidas se obtuvieron con el software SPSS (Statistical package social science) versión 15.0. Las gráficas se elaboraron con el paquete Sigma Plot (V12.0),

### **4.3.3. Resultados y discusión.**

#### **4.3.3.1. Pérdida de peso.**

La conservación de peso en frutos de ilama con recubrimiento comestible a tres temperaturas fue mayor en comparación con el control. Se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) a los 4, 9 y 13 días de almacenamiento, siendo la congelación con recubrimiento el tratamiento con mejores resultados conservando al día 13 el 100% del peso inicial, mientras que para refrigeración, al día 13 fue del 94% en los recubiertos y de 74% en los no recubiertos. Para los almacenados a temperatura ambiente los frutos sin cubrir presentaron una pérdida de 94% al día 4 de almacenamientos y los tratados el 95% al día 9 bajo las mismas condiciones (Figura 8).

La pérdida de peso en los frutos se incrementa como consecuencia de la transpiración después de la cosecha y contribuye a la disminución de la calidad y por lo tanto rechazo de los consumidores. En este sentido, Amarante y Banks (2001) mencionan que la menor pérdida de peso se debe a la transpiración por un gradiente de presión de vapor entre el tejido y la atmósfera circundante. Aplicaciones de recubrimientos comestibles a base de goma policaju en mango fresco variedad Tommy Atkins bajo refrigeración actuaron como una barrera frente al transporte de masa al reducir la pérdida de peso (Souza *et al.*, 2010).

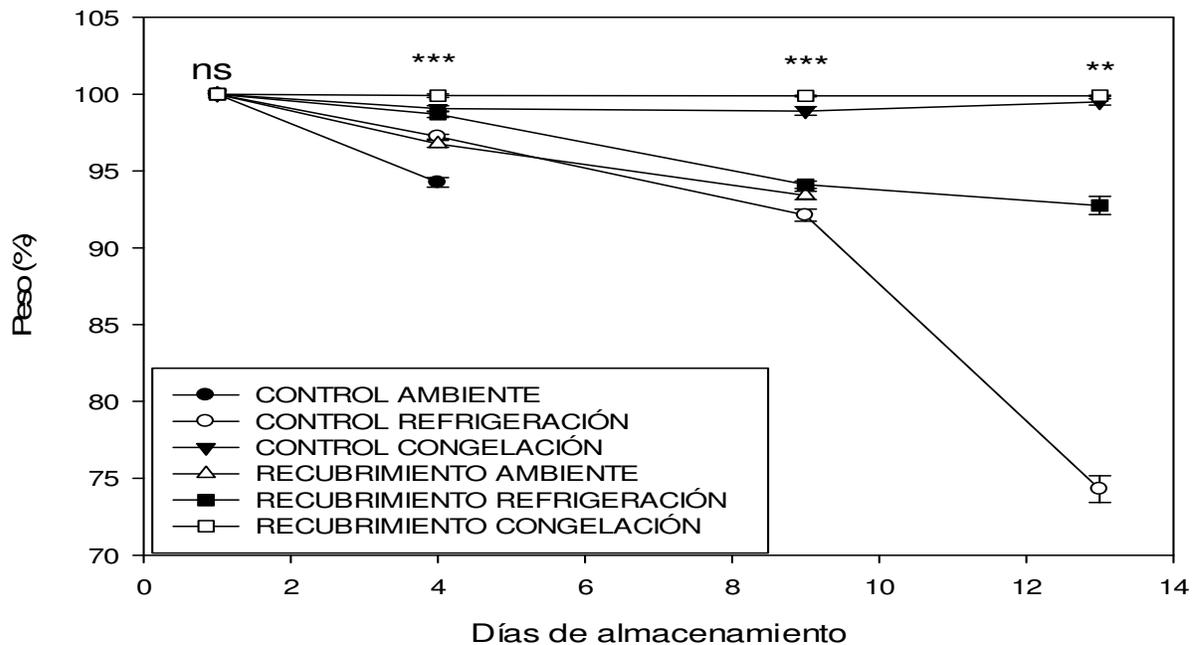


Figura 8. Pérdida de peso en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas. \* = ( $\alpha \leq 0.05$ ); \*\* = ( $\alpha \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $\alpha \leq 0.001$ ). Los datos son la media de 3 frutos, un fruto por repetición  $\pm$  EE.

Lanchero *et al.* (2007) mencionan que la temperatura y la ventilación son determinantes en el proceso de respiración, cuanto más alta sea la temperatura, mayor será el ritmo respiratorio.

No existen antecedentes sobre el uso del control de temperatura y recubrimientos comestibles para ilama. Sin embargo, se sabe que los frutos de anonas son susceptibles a daños por frío, comportamiento que no fue observado en esta evaluación. Los frutos con recubrimiento no presentaron daños por frío contrario a lo observado en los no recubiertos, donde se observó el efecto de las bajas

temperaturas sobre la oxidación de la pulpa y el oscurecimiento de la cáscara. Por lo que se sugiere que el recubrimiento confirió cierta protección a los daños por frío al actuar como barrera exterior del fruto.

#### **4.3.3.2. Acidez titulable.**

La acidez titulable inicial de los frutos fue de 0.016%, misma que se incrementó al día 4 de almacenamiento y, posteriormente, mantuvo valores similares al final de la evaluación. Durante el almacenamiento se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) a partir del día 4, hasta concluir el periodo de almacenamiento (13 días) para todos los tratamientos. Los valores de porcentaje de ácido málico oscilaron entre 0.016% y 0.048% (Figura 9). Los frutos cubiertos y almacenados en congelación registraron mayor aumento en la concentración de acidez que el resto de los tratamientos, seguido de la refrigeración y la temperatura ambiente. El contenido de acidez titulable es inferior a los reportados para frutos del estado de Chiapas, variedad rosada, donde se registraron valores de 0.34%, y en variedades blancas de 0.16 y 0.17% (Julián-Loeza *et al.*, 2011). Durante la maduración del fruto existe reducción de la acidez asociada con el proceso de respiración, proceso que acelera la pérdida de la acidez titulable conforme este avanza. Los recubrimientos comestibles no afectan la concentración de acidez en papaya (*Carica papaya* L.) (Mulkay *et al.*, 2004; Yusof *et al.*, 1992), la cual disminuye al acercarse la senescencia. Contrario a esto, en esta investigación se observó que dicha concentración aumenta y se mantiene hasta el final producto de las bajas temperaturas. Este comportamiento puede estar relacionado con cambios en el

grado de fluidez de las membranas conforme la temperatura desciende (O'Hare y Prasad, 1993).

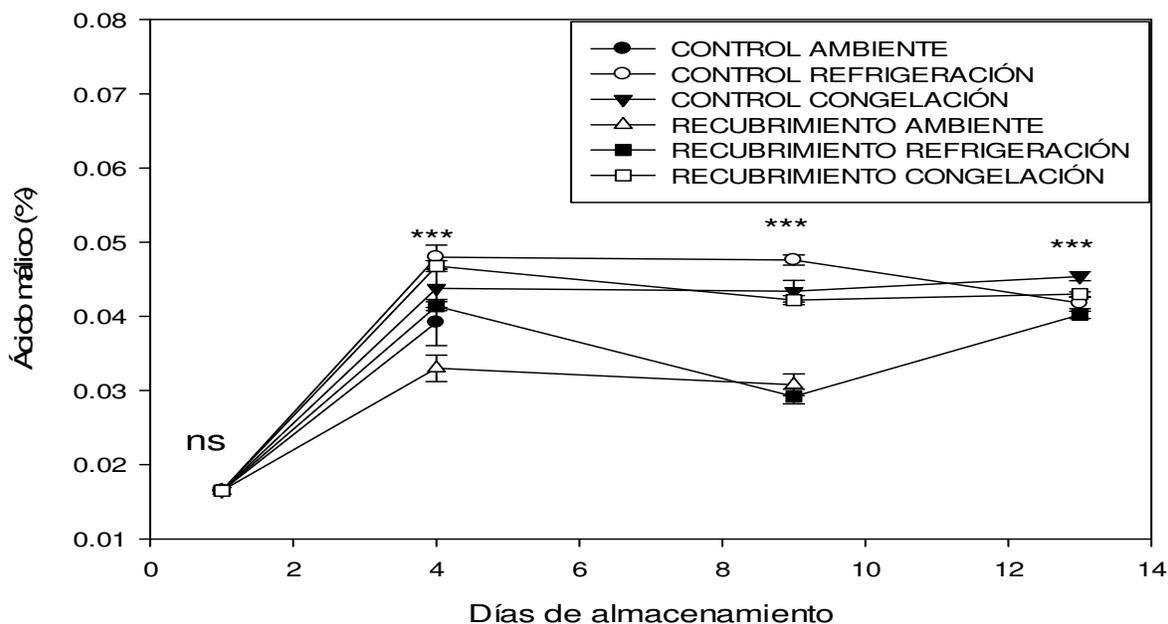


Figura 9. Acidez titulable en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas. \* = ( $\alpha \leq 0.05$ ); \*\* = ( $\alpha \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $\alpha \leq 0.001$ ). Los datos son la media de 3 frutos, un fruto por repetición  $\pm$  EE.

#### 4.3.3.3. Firmeza de cáscara.

La firmeza de los frutos con recubrimiento y almacenados en congelación mantuvieron 100% de la firmeza inicial (28.2 N) durante todo el periodo de almacenamiento (13 días); mientras que los no recubiertos aumentaron al día 4 43% (41.8 N) del peso inicial, y así se mantuvo durante el mismo periodo con diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). Para los frutos almacenados en refrigeración, ambos,

recubiertos y no recubiertos, disminuyeron la firmeza al día 4 de almacenamiento, los frutos no recubiertos redujeron 36% la firmeza? inicial y los recubiertos 16%. Posteriormente, a esta temperatura, se observó aumento de la firmeza hasta el final del periodo de almacenamiento; los frutos no recubiertos llegaron a 45.1 N y los frutos recubiertos llegaron a 49.0 N.

Para temperatura ambiente, existió tendencia decreciente de la firmeza en los frutos de ambos tratamientos. Al día 4 de almacenamiento, la pérdida fue de 93% para los no recubiertos y 28% para los recubiertos (Figura 10). En frutos de ilama no hay reportes sobre metodologías para preservar la calidad poscosecha que permitan reducir la pérdida de firmeza (Valle *et al.*, 2012). Ante esta situación, el empleo de un RC en combinación con el control temperatura puede resultar viable para prolongar la vida de anaquel de estos frutos a más de 3 días sin afectar su firmeza e inhibiendo la presencia de daños por frío, probablemente por la modificación de la atmósfera y la disminución de la temperatura que afecta el metabolismo.

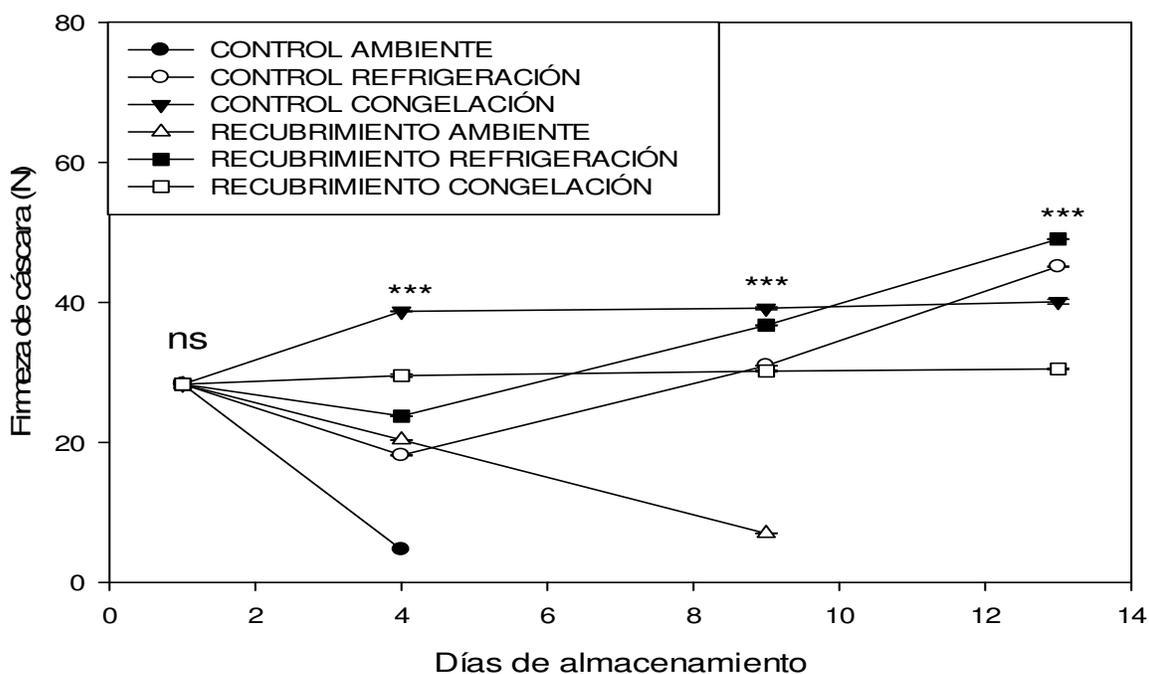


Figura 10. Firmeza de cáscara en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas. \* = ( $\alpha \leq 0.05$ ); \*\* = ( $\alpha \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $\alpha \leq 0.001$ ). Los datos son la media de 3 frutos, un fruto por repetición  $\pm$  EE.

#### 4.3.3.4. Firmeza de pulpa.

La firmeza de la pulpa presentó comportamiento similar al de la cáscara; hubo diferencia estadística a partir del día 4 de almacenamiento ( $p \leq 0.05$ ). En congelación, los frutos recubiertos preservaron la firmeza inicial (43.06 N) hasta finalizar el periodo de evaluación (día 13) (44.6 N); mientras que los frutos sin recubrimiento aumentaron su firmeza al día 4 (58.9 N) y después, permaneció durante el resto del almacenamiento (59.2 N). Para los almacenados en refrigeración, se registró aumento de firmeza en ambos tratamientos al día 4 y

posteriormente disminución en el día 8, manteniendo estos valores al día 13. Contrario a esto, los almacenados en ambiente disminuyeron la firmeza desde el inicio de la evaluación; para los no recubiertos se observó disminución de firmeza, 80% (8.29 N), y en los no recubiertos del 59% (17.73 N) en el día 4 (Figura 11).

La pérdida de firmeza es un factor importante en la percepción de calidad de un fruto. En ilama se ha evaluado el uso de AM y se observó que la tendencia de la firmeza de pulpa durante el almacenamiento fue decreciente, aunque no registró cambios significativos en esta variable durante el transcurso de los días ( $P > 0.05$ ) (Valle *et al.*, 2012). Contrario a lo reportado por estos autores, en este estudio los cambios en firmeza de pulpa entre tratamientos fueron estadísticamente significativos ( $p \leq 0.05$ ), siendo los frutos recubiertos bajo congelación los que conservaron mejor esta variable desde el inicio del almacenamiento, posiblemente debido a que forman una barrera semipermeable que regulan el intercambio de gases y vapor de agua desde y hacia los productos recubiertos (Márquez *et al.*, 2017), creando una AM al interior de los productos.

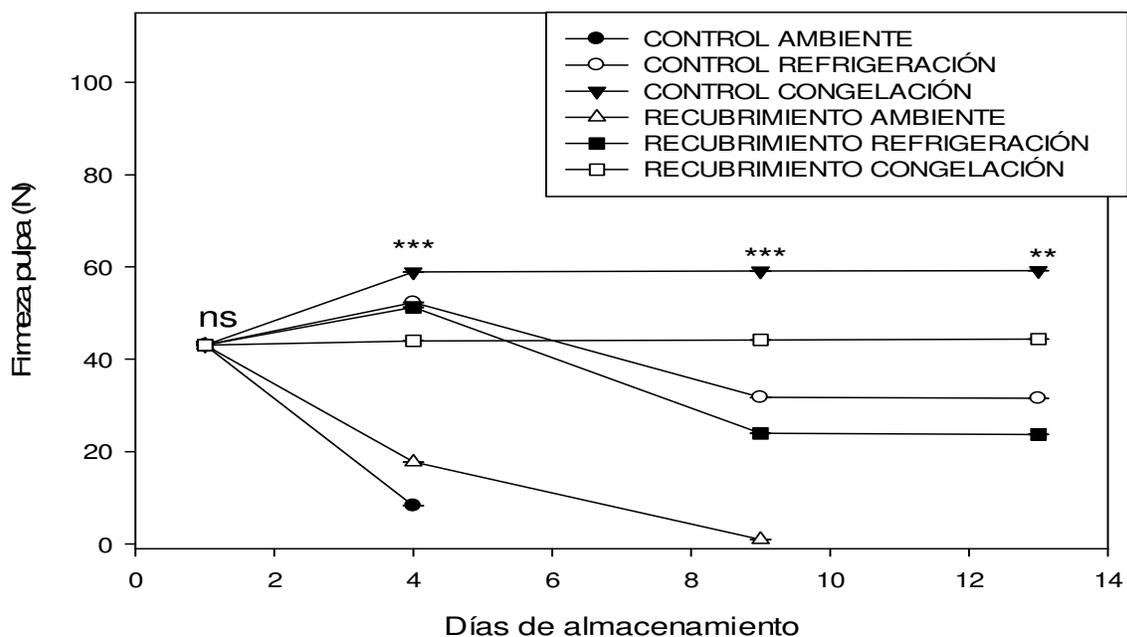


Figura 11. Firmeza de pulpa en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas. \* = ( $\alpha \leq 0.05$ ); \*\* = ( $\alpha \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $\alpha \leq 0.001$ ). Los datos son la media de 3 frutos, un fruto por repetición  $\pm$  EE.

#### 4.3.3.5. Índice de color.

El color es uno de los atributos determinantes para que el consumidor acepte la apariencia y brillo de un fruto fresco. No existen antecedentes sobre el índice de color en frutos de ilama; sin embargo, con base en la escala propuesta por Vignoni *et al.* (2006), los resultados observados en el almacenamiento poscosecha clasifican dichos frutos en “verde profundo” al inicio, con tendencia al “verde amarillento” (valores de IC de -20 a -2) y conforme avanza el periodo poscosecha de estos frutos amarillo pálido (valores de IC positivos de más de 20). La

modificación en este parámetro por la aplicación del recubrimiento y manejo de temperatura en este estudio pudo ser observado a los 4, 9 y 1 días de almacenamiento, en los cuales hubo diferencia estadística ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos. Los frutos almacenados en congelación y con RC presentaron menor alteración en el índice de color, mismo que presentó disminución (-7.05 a -10.7) y luego aumentó a -2.4 y -1.8 a los 9 y 13 días respectivamente. Los no cubiertos presentaron comportamiento similar a los 4 y 8 días de almacenamiento; sin embargo, para la última fecha incrementó este índice a 28.2 unidades. Los almacenados en refrigeración y recubiertos presentaron menor incremento en el índice de color de -7.05 al inicio y al final 14.2, mientras que los no cubiertos llegaron a 27.6 haciéndose visible mediante una coloración marrón (Figura 12).

Una de las funciones de los RC es lograr disminuir la pérdida de peso, preservar color, aroma, sabor y valor nutricional (Perdones *et al.*, 2012). En esta investigación la utilización del RC y el control de temperatura de almacenamiento modularon el comportamiento del índice de color de los frutos, siendo los almacenados en congelación los que lograron mejores resultados sin presentarse alteraciones visuales.

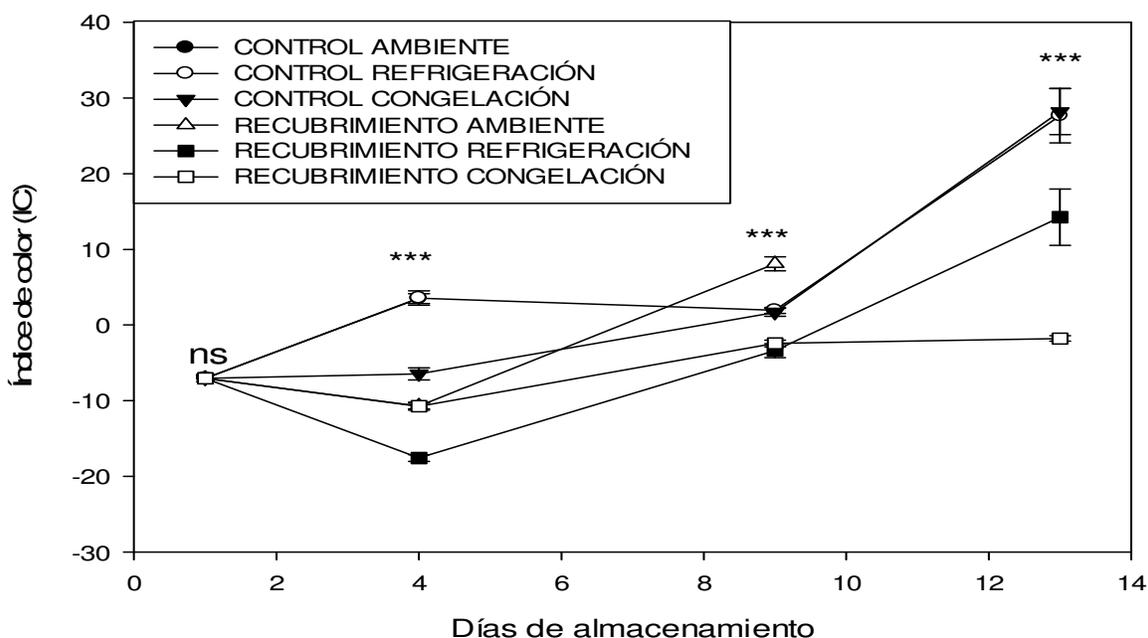


Figura 12. Índice de color (IC) en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas. \* = ( $\alpha \leq 0.05$ ); \*\* = ( $\alpha \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $\alpha \leq 0.001$ ). Los datos son la media de 3 frutos, un fruto por repetición  $\pm$  EE.

#### 4.3.3.6. Sólidos solubles totales.

Estadísticamente se presentaron diferencias ( $p \leq 0.05$ ) a los 4, 9 y 13 días de almacenamiento. Para el almacenamiento a temperatura ambiente, los frutos no cubiertos presentaron mayor contenido de SST ( $24.8^{\circ}\text{Bx}$ ) al día 4 de almacenamiento, mientras que los frutos con RC registraron  $22.9^{\circ}\text{Bx}$  en el mismo periodo. Los frutos almacenados en refrigeración presentaron comportamiento similar durante todo el tiempo de almacenamiento; aumentaron de  $15.6^{\circ}\text{Bx}$  hasta valores al final de  $23.2^{\circ}\text{Bx}$  y  $21.4^{\circ}\text{Bx}$  en los no cubiertos y los RC, respectivamente.

Para congelación, el comportamiento se observó similar en ambos tratamientos; los contenidos de esta variable no se modificaron significativamente durante el almacenaje, los frutos sin cubrir disminuyeron a 15.6°Bx y en los frutos con RC aumentaron a 15.8°Bx (Figura 13).

El contenido de °Bx en este trabajo al inicio son menores a los reportados por Valle *et al.* (2012) (entre 17.4 y 18.3 °Bx) y mayores que los reportados por Moreno-Velázquez *et al.* (2008) para el Estado de Guerrero, México (13.0 a 14.8 °Bx). La evaluación de una AM en frutos de ilama no afectó la concentración de SST durante 9 días de almacenamiento. Contrario a esto, los resultados de este trabajo muestran el efecto del tratamiento sobre la concentración de SST, que también se ve influenciado por el efecto de la disminución de la temperatura de almacenamiento.

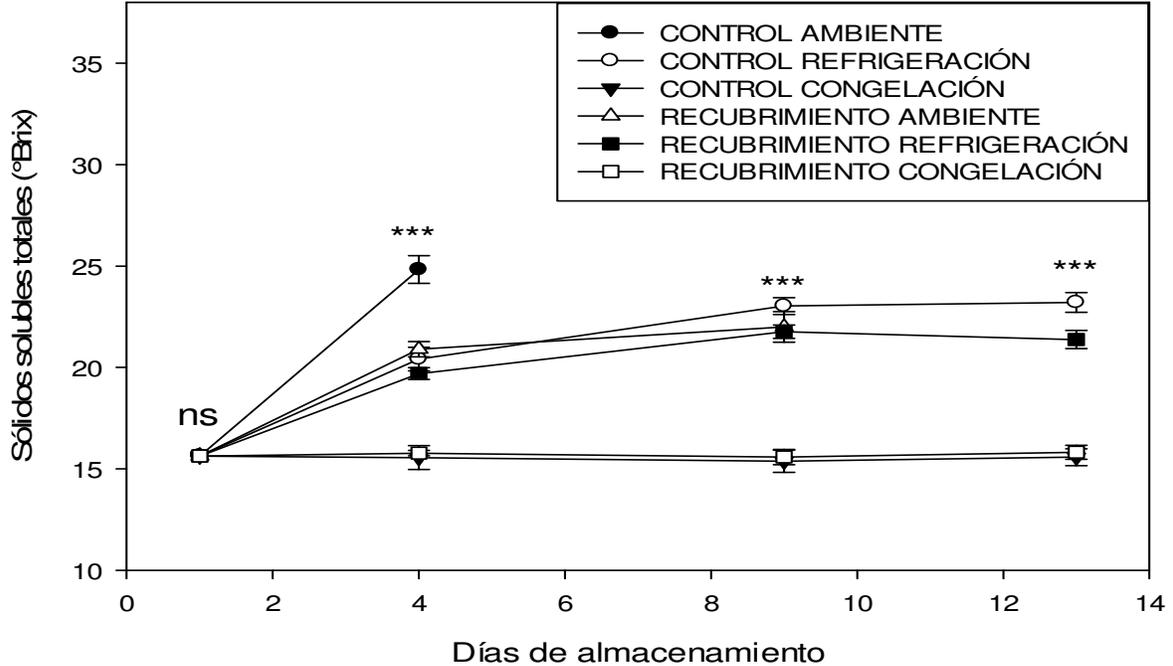


Figura 13. Sólidos solubles totales (°Bx) en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas. \* = ( $\alpha \leq 0.05$ ); \*\* = ( $\alpha \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $\alpha \leq 0.001$ ). Los datos son la media de 3 frutos, un fruto por repetición  $\pm$  EE.

#### 4.3.3.7. Respiración.

Para la velocidad de respiración, los frutos tanto recubiertos como los no recubiertos y almacenados en congelación redujeron la velocidad de respiración a partir del día 4 y hasta finalizar la evaluación (13 días), observándose dos puntos máximos de respiración de 17.2 y 17.6 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a los 3 días y a los 9 días, 15.9 y 14.3 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para los recubiertos y los no recubiertos. Mientras que para los frutos almacenados en refrigeración se observa el mayor punto de respiración al tercer día

con 51.2 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para los no recubiertos y 30.2 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para los recubiertos; y seguido de una disminución constante hasta el día 8 y aumento en el día 9 de almacenamiento.

La intensidad respiratoria para los frutos almacenados a temperatura ambiente muestra que a los 3 días de almacenamiento, el punto máximo para no recubiertos y recubiertos fue de 58.9 y 32.3 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente. Posteriormente, siguió disminución constante (Figura 14). Valle *et al.* (2012) reportaron valores de respiración en frutos de ilama de 97.1 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, sin diferencia estadística entre frutos almacenados en AM y frutos control. El comportamiento de frutos recubiertos y almacenados a temperatura ambiente fue similar a los tratados en refrigeración, inclusive con valores por debajo de los no recubiertos en refrigeración, reduciendo significativamente la velocidad de respiración debido a que controlan el intercambio gaseoso entre el fruto y el medio poseen baja permeabilidad al CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, retrasando la senescencia y aumentando la vida de anaquel (García *et al.*, 2001).

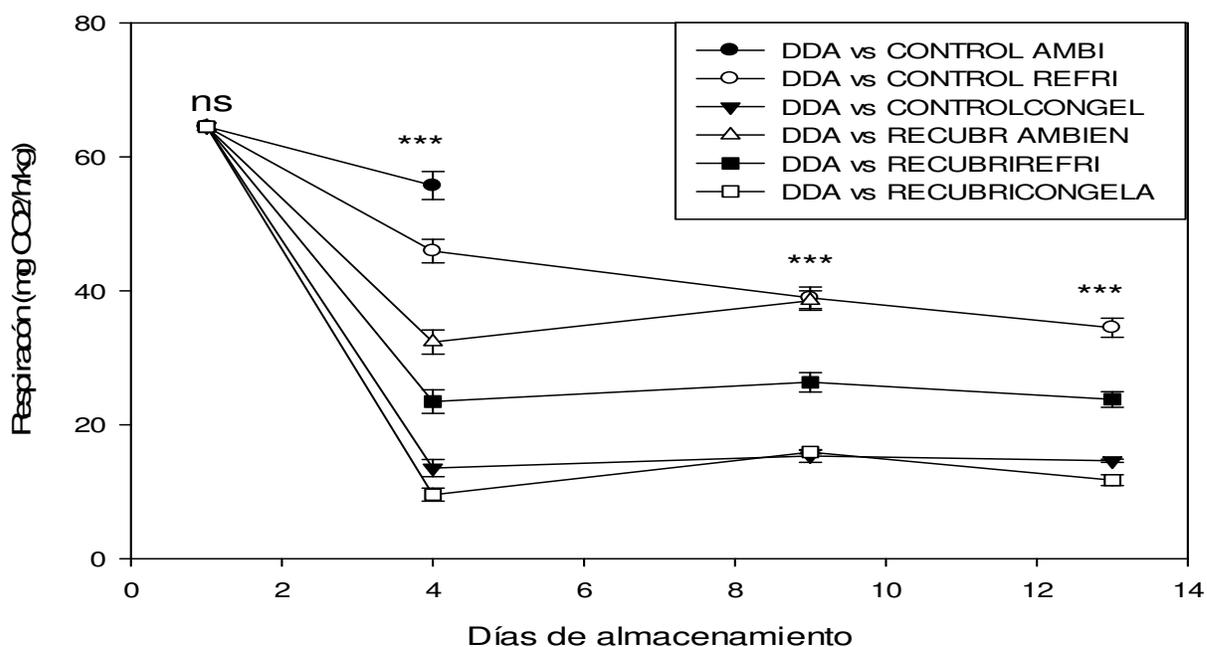


Figura 14. Respiración en poscosecha de frutos de ilama con recubrimiento comestible almacenados a tres temperaturas. \* = ( $\alpha \leq 0.05$ ); \*\* = ( $\alpha \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $\alpha \leq 0.001$ ). Los datos son la media de 3 frutos, un fruto por repetición  $\pm$  EE.

Por otro lado, la temperatura es un factor determinante en la velocidad respiratoria, la cual, modula el deterioro de los frutos (Guerra, 1996). Al disminuir la temperatura disminuye la tasa respiratoria, la pérdida excesiva de agua y reduce la velocidad de las reacciones bioquímicas y enzimáticas, prolongando su vida de anaquel. Para este estudio, la disminución en la velocidad respiratoria se debe principalmente a la disminución de la temperatura y el recubrimiento permitió la ausencia de daños por frío comúnmente observados en frutos de origen subtropical y tropical cuando son sometidos a bajas temperaturas (Martínez-Jávega, 1997).

#### **4.3.4. Conclusiones.**

El uso de un recubrimiento comestible en frutos de ilama y bajas temperaturas permite preservar la calidad y extender la vida de anaquel durante 13 días. Reduce la pérdida de agua, mantiene el color, regula la velocidad de respiración, retrasa la senescencia y preserva la calidad.

El recubrimiento comestible evita la presencia de daños por frío en frutos de ilama bajo temperaturas de refrigeración (4°C) y congelación (0°C) que por su naturaleza son susceptibles a estos daños y proporciona valor agregado en el producto.

## V. CONCLUSIONES GENERALES

La aplicación por aspersión de resveratrol (1.6 mM) y 6-bencilaminopurina (1.0 mM) aumentó la firmeza en frutos de chirimoya 'Bays' al cosecharse a los 8 y 30 días después de aplicación. La vida de anaquel de frutos tratados con estos biorreguladores y cosechados a los 8, 15 y 30 días después de aplicación, se extendió por 3 días más que el control.

En guanábana, la aplicación simultánea de 1.6 mM de resveratrol y 1.0 mM de 6-bencil amino purina, 10 días antes de la cosecha, prolongó la vida de anaquel por 3 días, al almacenarse a 18°C. Dicha aplicación redujo la pérdida de firmeza y mantuvo el índice de color de los frutos por debajo del control durante los 11 días de almacenamiento. Además, los sólidos solubles totales de frutos tratados con bioreguladores, no alcanzaron los niveles máximos observados en los frutos control por lo que se puede inferir un efecto sobre la maduración organoléptica de la guanábana.

Frutos de ilama con recubrimiento comestible y almacenados a temperatura de congelación preservaron las características de calidad en los frutos tratados por 13 días de almacenamiento sin presentar daños por frío.

## VI. LITERATURA CITADA.

1. Aghofack, N.J. y Manka'abiengwa, J. 2012. Effects of exogenously applied benzylaminopurine and kinetin on the ripening of banana (*Musa acuminata* Colla var. William) fruits. American Journal of Plant Physiology. 7: 154-163.
2. Alique, R., Luna, P., Hernández, T. y Martínez, M.A. 2009. Residual effect of atomized water vapour treatment on carbohydrate metabolism during ripening of cv "Fino de Jete" cherimoya fruit. European Food Research and Technology. 229: 661-669.
3. Amarante, C.N.H.B. 2001. Postharvest physiology and quality of coated fruits and vegetables. Horticultural Reviews. 26:161-237.
4. Andrés, A.J. y Andrés, L.H. 2011. Biología, diversidad, conservación y uso de los recursos genéticos de Annonaceae en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 152 p.
5. AOCS. 2009. Official Methods and Recommended Practices. Champaign, Illinois USA. American Oil Chemists' Society.
6. Benassil, G., Francischini, G.A.S., Kluge, R.A. y Jacominol, A.P. 2003. Shelf life of custard apple treated with 1-methylciclopropene - an antagonist to the ethylene action. Brazilian archives of Biology and Technology. 115-119 pp.
7. Bioversity International y Cherla. 2008. Descriptores para chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Bioversity International, Roma, Italia; Proyecto CHERLA, Málaga, España. 3 p.

8. Bolívar-Fernández, N., Saucedo-Veloz C., Solís-Pereira S. y Sauri-Duch, E. 2009. Ripening of sugar apple fruits (*Annona squamosa* L.) developed in Yucatán, México. *Agrociencia* 3 (2). 133-140 pp.
9. Bouzayen, M., Latché, A., Nath, P. y Pech, J.C. 2010. Mechanism of fruit ripening. In: plant developmental biology-biotechnological perspectives. Pua, E. C. y Davey, M. R. (Eds.). Springer-Verlag. Berlin, Germany. Vol. 1. 319-339 pp.
10. Bruinsma, J. y Paull, R.E. 1984. Respiration during postharvest development of soursop fruit (*Annona muricata* L.). *Plant Physiology*, 76: 131-138.
11. Buchanan, B.B., Wilhelm, G. y Russel, L.J. 2000. Biochemistry and Molecular Biology of Plants. American Society of Plant Physiologists. Rockville, MD., USA. 1158 p.
12. Cabrera, C.E., Hernández, E.M., Salvador, J.F., y Salazar, C.G. 2004. "Annonaceae de la Península de Yucatán. Taxonomía, Florística y Etnobotánica". En: Etnoflora Yucateense Fascículo 21. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán. México. 63 p.
13. Carpita, N. y Mccann, M. 2000. The cell wall. En: BuchananB., GruissemW., JonesR. (Eds.) Biochemistry and Molecular Biology of Plants. USA: American Society of Plant Physiologists. 52-108 pp.
14. Castillo, Á. D., Varela, H.G., Pérez, S.B.R. y Pelayo, Z.C. 2005. Daños por frío en guanábana. Índice de corte y tratamientos poscosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 11:51-57.

15. Cerdas, A.M.M., Umaña, R.G. y Castro, R.J.J. 2007. Manual de manejo poscosecha de anona (*Annona cherimola* Mill.). Ministerio de agricultura y Ganadería Universidad Costa Rica. 7 p.
16. Chaves, M., Bonomo, R., Silva, A., Santos, L., Carvalho, B., Souza T., Gomes, G. y Soares, R.. 2007. Use of potassium permanganate in the sugar apple post-harvest preservation. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 5(5), 346-351.
17. Chávez, P.E.M., Marroquín, L.A., Cedillo, E.P. y Cervera, E.B. 1999. Estudio etnobotánico de llama (*Annona diversifolia* Saff.) en Tejupilco, Estado de México. *In: II Congreso Internacional de Anonáceas*. (eds). Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Octubre 26, 27 y 28. México. 118- 124 pp.
18. Cherukuri, K. 2007. Effect of trans-resveratrol treatment on shelf-life and bioactive compounds in Satsuma mandarin. (Ph. D. Thesis), Auburn University. Alabama, USA. 1-84 pp.
19. Chonhenchob, V., Sittipod, S., Swasdee, D., Rachtanapun, P., Singh, S. P. y Singh, J. 2009. Effect of truck vibration during transport on damage to fresh produce shipments in Thailand. *The Journal of Applied Packaging Research*. 3(1): 27-38.
20. Coge, X. y Lainnaz, J. 1996. Manual pollination of sugar apple (*Annona squamosa* L.). *Fruits*. 49 (5-6) 359-360.
21. Cordeiro, M.C.R. y Pinto, Q. 2005. Chemical properties. *In: Williams, J. T., R. W. Smith, A. Huhes, N. Haq, and C. R. Clement (eds). Annona Species*.

International Centre for Underutilised Crops, University of Southampton, UK.  
124-134 pp.

22. Costa, M.L., Civello, P.M., Chávez, A.R., y Martínez, G.A. 2005. Effect of ethephon and 6 benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase linked chlorophyll bleaching during postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20 °C. *Postharvest Biology and Technology*. 35: 191-199.
23. Crane, J., Balerdi, C. y Maguire, I.. 2010. Cultivo del Anon en los Jardines de la Florida. Universidad de la Florida. Disponible en: [http://miamidade.ifas.ufl.edu/pdfs/tropical\\_fruit](http://miamidade.ifas.ufl.edu/pdfs/tropical_fruit). Fecha de consulta 25 de marzo de 2020.
24. Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M.T., Rodríguez Pérez, J.E., Colinas-León, M.T., y Moreno-Pérez, E. del C. 2012. Conservación poscosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 18:333-344.
25. Cuadros, V. 2008. Guanábana: Manejo del cultivo y poscosecha. Quito: Proexant. 5 p.
26. Decker, E. A. 2009. The role of phenolics, conjugated linoleic acid, carnosine, and pyrroloquinoline quinone as nonessential dietary antioxidants. *Nutrition Reviews*, 53(3) 49-58.
27. Del Cura, B., Escribano, M.I., Zamorano, J.P. y Merodio, C. 1996. High carbon dioxide delay postharvest changes in RuBP. *Case and*

- polygalacturonase related protein in cherimoya peel. Journal of the American Society for Horticultural Science. 121, 735-739.
28. Duke, A.T. y Cellier, J.L., 1993. CRC Handbook of Alternative Cash Crops. Annonaceae CRC Press Inc., FL, USA. 33–46 pp.
29. Espinoza, I., Ortiz, R. I., Tovar, B., Mata, M., y Montalvo, E. 2013. Physiological and physicochemical behavior of soursop fruits refrigerated with 1-methylcyclopropene. Journal of Food Quality. 36: 10-20.
30. Evangelista, L.S., Cruz, C.J.G., Pérez, G.S., Mercado, S.E. y Dávila, O.G. 2003. Producción y calidad frutícola de guanábanos (*Annona muricata* L.) provenientes de semilla de Jiutepec, Morelos, México. Revista Chapingo Serie Horticultura . 9:69-79.
31. FAO, 1990. Utilization of Tropical Foods, Fruits and Leaves. FAO Food and Nutrition Paper 47(7): 10-14 pp.
32. Fidelibus, M.W., Davies, F.S. 2001. Gibberellic acid wash off studies on 'Hamlin' orange. Proc. 114th Annual Meeting Florida State. Horticultural Society. 114: 118-120.
33. Flores, A. 2000. Manejo poscosecha de frutas y hortalizas en Venezuela. Experiencias y recomendaciones. Editorial UNELLEZ, San Carlos, Venezuela. 224 p.
34. Franco-Mora, O., Saucedo, C.V., Jasso, J.M., y García, E.V. 2001. Patrón de crecimiento y grado de polinización en guanábana. In: Primer Congreso Nacional de Anonáceas. Marroquín A L M (ed). Universidad Autónoma Chapingo. 11 a 13 octubre. UACH. 118 p.

35. Franco-Mora, O., Aguirre-Ortega, S., Morales-Rosales, E.J., González-Huerta, A. y Gutiérrez-Rodríguez, F. 2010. Caracterización morfológica y bioquímica de frutos de tejocote (*Crataegus mexicana* DC.) de Lerma y Ocoyoacac, México. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 17 (1), 61-66.
36. Franco-Mora, O., Morales-Pérez, A.A., Castañeda-Vildózola, A., Morales-Rosales, E.J. y Sánchez-Pale, J. R. 2015. Sprays mixing resveratrol and benzylaminopurine previous harvest helps to preserve postharvest quality in cherimoya. Journal of Agriculture and Life Sciences. 2: 16-24.
37. García, M., Martino, M. y Zaritzky, N. 2001. Composite starch-based coatings applied to strawberries (*Fragaria ananassa*). Nahrung/Food, 45(4), 267–272.
38. García, T.Y., García, P.A., Hernández, G.A. y Pérez, P. J. 2011. Estudio de la variación del índice de color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 20: 12-16.
39. Giovannoni J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 52: 725-749.
40. González, C.M. 1984. Especies Vegetales de Importancia Económica en México. Ed. Porrúa, México. 305 p.
41. González, M., Peinado, S., Pinillos, V., Hueso, J.J. y Alonso, F. 2010. Fenología

42. Guerra, F. 1996. Tecnología post-cosecha de frutos cítricos. Curso integral de citricultura. Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical. 242-257 pp.
43. Hernández, O., Urdaneta, I., Morón, M., Hernández, C., Chacín, J., Guerrero, R. y Clamens, C. 2011. Physicochemical characterization of sugar apple fruit (*Annona squamosa* L.) under gravity irrigation conditions. Revista de la Facultad de Agronomía. (LUZ). 351-358 pp.
44. Jian, Y., Zhen, B., Xiu, W. y Guo, X. 2009. Polygalacturonase,pectate lyase and pectin methylesterase activity inpathogenic strains of *Phytophthora capsici* incubated under different conditions. Journal of Phytopathology.157:585-591.
45. Jiménez, J.B., Orea, J.M., Montero, C., González-Ureña, A., Navas, E., Slowing, K., Gómez-Serranillos, M.P., Carretero, E. y De Martinis, D. 2005. Resveratrol treatment controls microbial flora, prolongs shelf life, and preserves nutritional quality of fruit. Journal Agriculture Food Chemistry. 53: 1523-1530.
46. Jiménez-Zurita, J.O., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal I., Juárez-López, P., Sumaya-Martínez, T. y Bello-Lara. J.E. 2016. Caracterización de frutos de guanabana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7: 1261-1270.
47. Julián, A. 2009. Propiedades físicas y químicas de tres variedades del fruto de *Annona diversifolia* Saff. (Trabajo especial de grado). Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca, México. 23-63 pp.

48. Julián-Loaeza, A.P., Santos-Sánchez, N.F., Valadez-Blanco, R., SánchezGuzmán, B. S. y Salas-Coronado, R. 2011. Chemical composition, color, and antioxidant activity of three varieties of *Annona diversifolia* Safford fruits. *Industrial Crops and Products*. 34:1262-1268.
49. Lancho, O., Velandia, G., Fischer, G., Varela, N.C. y García, H. 2007. Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Corpoica*, 8(1), 161 - 168.
50. Lazan, H., Selamat, M.K. y Ali, Z.M. 1995.  $\beta$ -Galactosidase, polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. *Acta Physiologiae Plantarum*. 95:106-112.
51. León, J. 1989. Compendio de Agronomía Tropical. Tomo II. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 274-285 pp.
52. Lima, M.A.C., Alves, R.E., Filgueiras, H.A.C., y Enéas, F.J. 2003. Comportamento respiratório e qualidade pós-colheita de graviola (*Annona muricata* L.) 'morada' sob temperatura ambiente. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 25: 49-52.
53. Lima, M.A.C., Alves, R.E. y Filgueiras, H.A.C. 2006. Mudanças relacionadas ao amaciamento da graviola (*Annona muricata* L.) durante a maturação pós-colheita. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 41: 1707-1713.
54. Lima, M.A.C., Alves, R.E. y Filgueiras, H.A.C. 2010. Comportamento respiratório e amaciamento de graviola (*Annona muricata* L.) após

- tratamientos pós-colheita com cera e 1-metilciclopropeno. *Ciência e Agrotecnologia*. 34: 155-162.
55. Lima, M.A.C. y Alves, R.E. 2011. Soursop (*Annona muricata* L.). In: Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits Vol. 4. Mangosteen to White sapote. Yahia, ed. Amsterdam, Holland. Elsevier. 363-391 pp.
56. Márquez, C.C.J., Villacorta, L.V., Betancur, D.P.P., Ciro, V.H.J., y Cartagena, V.J.R. 2012. Physiological and physicochemical characterization of the soursop (*Annona muricata* L. cv. Elita). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 65: 6477-6486.
57. Márquez, C.J. 2009. Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutracéutica, estructural y sensorial de la guanábana (*Annona muricata* L. cv. Elita) (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Colombia. 160-206 pp.
58. Márquez, G.R., Di Pierro, P., Mariniello, L., Esposito, M., Giosafatto, C.V. y Porta, R. 2017. Fresh-cut fruit and vegetable coatings by transglutaminase-crosslinked whey protein/pectin edible films. *LWT- Food Science and Technology*, 75, 124-130.
59. Martínez-Jávega J.M. 1997. La frigoconservación en naranjas y mandarinas. *Revista Phytoma*. 90: 136-140.
60. Martínez-González, M., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M., Palomino-Hermosillo, Y. y López-Guzmán, G. 2017. Postcosecha de frutos:

maduración, ablandamiento y control transcripcional. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas. 19: 4089-4101.

61. Montalvo, G.E., León, F.A.E., Rea, P.H., Mata, M. De O.M., y Tovar, G.B. 2014. Uso combinado de 1-Metoxiciclopropeno y emulsiones de cera en la conservación de guanábana (*Annona muricata* L). Revista Brasileira Fruticultura. 36: 296-304.
62. Morales, P.A.A., Franco-Mora, O., Castañeda-Vildózola, A. y Morales-Rosales, E. J. 2014. El efecto anti senescente del resveratrol reduce la tasa de ablandamiento poscosecha de chirimoya. Science Agropecuaria, 5: 35-44.
63. Morales, P.A.A., Franco-Mora, O., Castañeda-Vildózola, A., y Morales-Rosales, E.J. 2016. Efecto del resveratrol en frutos de chirimoya bajo simulación de transporte. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7: 127-132.
64. Moreno, H.C.L., Sáyago, A.S.G., García G.H.S., Mata, M. De O.M. y Montalvo, G. E. 2014. Effect of the application of 1-methylcyclopropene and wax emulsions on proximate analysis and some antioxidants of soursop (*Annona muricata* L.). The Scientific World Journal. 2014: 7.
65. Moreno-Velázquez, D., Saucedo-Veloz, C., Arévalo-Galarza, L., Peña-Valdivia, C.B., Soto-Hernández, M. y Cruz-Lagunas, B. 2008. Cambios bioquímicos, biofísicos y fisiológicos durante el crecimiento y maduración del fruto de ilama (*Annona diversifolia* Saff.). Agrociencia 42:407-414.

66. Mulkay, T., Cáceres, J., Rodríguez, A. y Paumier. 2004. Manejo de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) cv Maradol. Revista CitriFrut. 21:9-13.
67. Ogawa, M., Kay, P., Wilson, S. y Swain, S.M. 2009. Arabidopsis dehiscence zone polygalacturonase 1 (ADPG1), ADPG2, and QUARTET 2 are polygalacturonases required for cell separation during reproductive development in Arabidopsis. Plant Cell. 21:213-233.
68. O'Hare, T.J. y Prasad, A. 1993. El efecto de la temperatura y el dióxido de carbono en los síntomas de enfriamiento en el mango. Acta Horticulturae. 343: 244-250.
69. Pal, D.K. y Kumar, P.S. 1995. Changes in the physico-chemical and biochemical compositions of custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits during growth, development and ripening. Journal of Horticultural Science 70 (4):569-572.
70. Pareek, S., Yahia, E.M., Pareek, O.P. y Kaushik, R.A. 2011. Postharvest physiology and technology of *Annona* fruits. Food Research International. 44: 1741–1751.
71. Paull, R.E., Deputy, J.C., y Chen, N. J. 1983. Changes in organic acids, sugars and headspace volatiles during fruit ripening of soursop (*Annona muricata* L.). Journal of American Society Horticulture Science. 108: 931-934.
72. Perdonés, A., Sánchez, L., Chiralt, A. y Vargas, M. 2012. Effect of chitosan–lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. Postharvest Biology and Technology. 70:32-41.

73. Perez-Tello, G.O., Silva-Espinoza, B.A. y Martinez-Tellez, M.A. 2001. Effect of temperature on enzymatic and physiological factors related to chilling injury in carambola fruit (*Averrhoa carambola* L.). *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 287:846-851.
74. Pilnik, W. y Voragen, A.G. 1991. The significance of endogenous and exogenous pectic enzymes in fruit and vegetable processing. En P. F. Fox (ed.), *Food Enzymology*. New York. Elsevier Applied Science. 303-306.
75. Pinto, A.C.Q., Cordeiro, M.C.R., de Andrade, S.R.M., Ferreira, F.R., Figueiras, H.A.C. y Alves, R.E. 2005. *Annona species*. Southampton: International Centre for Underutilized Crops, University of Southampton. 263 pp.
76. Ploetz, R. C. 2003. Diseases of atemoya, cherimoya, soursop, sugar apple and related fruit crops. *Diseases of Tropical Fruit Crops*. PLOETZ, R. C. (ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK. 21-34 pp.
77. Prasanna, K.N.V., Rao, D.V.S. y Krishnamurthy, S. 2000. Effect of storage temperature on ripening and quality of custard apple (*Annona squamosa* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 75: 546-550.
78. Ramakrishna, M., Haribabu, K. y Purushotham, K. 2002. Effect of postharvest application of growth regulators on storage behaviour of papaya (*Carica papaya* L.) CV. 'Co-2'. *Journal of Food Science and Technology* 39(6): 657-659.

79. Reginato, M.G., y Lizana, A. 1980. Alteraciones detectadas en chirimoyas durante el almacenamiento. *Investigación Agrícola*. 6: 97-101.
80. Robbins, R. 2003. Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology. *Journal Agriculture and Food Chemistry*. 51: 2866-2887.
81. Rodríguez-Rodríguez, D.A., Patiño-Gutiérrez, M.P., Miranda-Lasprilla, D., Fischer, Gy Galvis-Vanegas, J. A.. 2005. Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(2), 2839-2858.
82. SAGARPA. 2011. Centro de Estadística Agropecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subdelegación Agropecuaria. Tepic, Nayarit, México.
83. Salomon-Castaño, J., Franco-Mora, O., Morales, A.A., Castañeda-Vildózola, A., Villarreal-Fuentes, J.M., y Sánchez-Pale, J.R. 2019. Improve of the preharvest application of resveratrol and 6-benzylaminopurine technique to reduce postharvest cherimoya fruit softness. *Acta Horticulturae*. (Accepted).
84. Souza, M. P. 2010. Polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. tree gum (Policaju) as a coating for Tommy Atkins mangoes. *Chemical Papers*, 64 (4) 475–481.
85. Thompson, A. K. 1998. Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas, Armenia, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje. Editorial Kinesis, Convenio SENA-Reino Unido, producido con el apoyo del Servicio Nacional de Aprendizaje de Colombia (SENA), el Departamento para el Desarrollo

Internacional (Department for International Development-DFID) y el Instituto de Recursos Naturales (Natural Resources Institute-NRI) del Reino Unido, Armenia, Colombia. 268pp.

86. Toro, L. 2009. Estudio de las etapas de cosecha y post-cosecha de la chirimoya para potencializar su aprovechamiento agroindustrial en el departamento del Quindío. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Universidad la Gran Colombia, Seccional Armenia. Quindío. 361 p.
87. Tovar-Gómez, B., Mata-Montes de Oca, M., García-Galindo, H.S. y Montalvo-González, E. 2011. Efecto de emulsiones de cera y 1-metilciclopropeno en la conservación poscosecha de guanabana. Revista Chapingo Serie horticultura. 17:53-61.
88. Valle-Guadarrama, S., Ruiz-Sánchez, X.G., Saucedo-Veloz, C., Gómez-Cruz, A. y Marroquín-Andrade, L.M. 2012. Comportamiento postcosecha de frutos de ilama (*Annona diversifolia*) en madurez comestible almacenados en atmósfera modificada. Revista Fitotecnia Mexicana, 35:75-81.
- 89.87. Valpuesta, V., Quesada, M.A. y Reid, M.S. 1996. Senescencia y abscisión. Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana McGraw-Hill. Bogotá. pp. 479-492.
90. Van Buren, J.P. 1986. Softening of cooked snap beans and other vegetables in relation to pectins and salts. In: Chemistry and Function of Pectins. Fishman and Jen, eds. Washington, USA. 190-199 pp.
91. Vignoni, L.A., Césari, R.M., Forte, M., y Mirábile, M.L. 2006. Determinación de índice de color en ajo picado. Información Tecnológica. 17: 63-67. 89.

- Villalobos, M. y Mitcham. 2008. Ripening of European Pears: The chilling Dilemma. *Revista Postharvest Biology and Technology*. 49: 187-200.
92. Vishnu, K.N., Sudhakar, D.V. y Krishnamurthy, S.. 2000. Effect of storage temperature on ripening and quality of custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75:5, 546-550.
93. Wachiraya, I., Saichol, K. y Wouter, G. 2006. Physiological and biochemical changes during banana ripening and finger drop. *Postharvest Biology and Technology* 39 (2): 211--216.
94. Waterman, P.G. y Mole, S. 1994. Analysis of phenolic plant metabolites. Blackwell. Oxford, UK. 238 p.
95. Wills, R.H., Lee, T.H., Mcglasson, W.B., May, E.G. y Graham D. 1997. Fisiología y manipulación de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. 2ª edición. Acribia, S.A. 143-166.
96. Worrell, D.B., Sean, C.C.M. y Huber, D.J. 1994. Growth, maturation and ripening of soursop (*Annona muricata* L.) *Horticulture Fruit Science*. 57:7-15.
97. Wu, H.C. y Jinn, T.L. 2010. La movilización de  $Ca^{2+}$  provocada por el choque térmico acompañada de la actividad de pectina metilesterasa y la oscilación citosólica de  $Ca^{2+}$  son cruciales para la termotolerancia de la planta. *Plant Signaling and Behavior*. 7, 1056–1057.
98. Xu, S, Chen X. y Sun D.W. 2001. Preservation of kiwi fruit with an edible film at ambient temperature. *Journal of Food Engineering*. 50 (4): 211–216.

99. Yang, X. 2009. Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. *Food Chemistry*, 114: 383-390.
100. Yonemoto, Y.J., y S. Nakao. 1993. Fruits growth curves of chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) from different blooming time in a plastic house and fruit qualities. *Journal of Tropical Agriculture*.37:7-8.
101. Yusof, S. y Salleh, M. 1992. Physico-chemical response of papaya to waxing. *Acta Horticultura* 292:223-230.
102. Zaicovski, C.B., Zimmerman, T., Nora, L., Nora, F.R., Silva, J. A., y Rombaldi, C.V. 2008. Water stress increases cytokinin biosynthesis and delays postharvest yellowing of broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*. 49: 436-439.
103. Zavaleta-Mancera, H.A., López-Delgado, H., Loza-Tavera, H., Mora-Herrera, M., Trevilla-García, C., Vargas-Suárez, M., y Ougham, H. J. 2007. Cytokinin promotes catalase and ascorbate peroxidase activities and preserves the chloroplast integrity during dark-senescence. *Journal of Plant Physiology*. 164: 1572-1582.
104. Zhu, L.H., Van de Peppel, A., Li, X.Y., y Welander, M. 2004. Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought conditions. *Scientia Horticulture*. 99: 133-141.

## VII. ANEXOS.

### 7.1. Anexo 1.

# Improving the preharvest application of resveratrol and 6-benzylaminopurine technique to reduce postharvest fruit softness in cherimoya

J. Salomon-Castaño<sup>1</sup>, O. Franco-Mora<sup>1</sup>, A.A. Morales<sup>1</sup>, A. Castañeda-Vildózola<sup>2</sup>, J.M. Villarreal-Fuentes<sup>3</sup> and J.R. Sánchez-Pale<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Horticultura, UAEMEX, Toluca, Mexico; <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEMEX, Toluca, Mexico; <sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas, UACH, Huehuetan, Mexico.

#### Abstract

Application of a mixed solution of 1.6 mM resveratrol (RVS) and 6-benzylaminopurine (BAP) at 8 or 15 days before harvest, successfully reduced fruit and peel softness, fruit weight loss, as well as peel color loss in cherimoya (*Annona cherimolla*) cultivars 'Fino de Jete' and 'Ruth'. In the present work, we applied the same RVS-BAP treatment to the full fruit of six 'Bays' cherimoya trees, 8 days before the first harvest; as control, the full fruit of other six 'Bays' cherimoya trees were sprayed with tap water. According to the harvest index, we harvested at 8, 15 and 30 days after spraying (DAS). RVS-BAP treated fruits harvested 15 DAS had 3 more days of shelf life (15 days) than the fruit of the other five treatments. It was noted that fruits harvested 8 and 15 DAS increased its firmness around 30% in relation to control; whereas those fruits harvested 30 DAS increased 100% its firmness compared to control. During postharvest storage, all the RVS-BAP treated fruits presented higher firmness than the non-treated cherimoya fruit. There was no difference between RVS-BAP treated or non-treated fruit, in the same harvest date, for fruit weight and peel color. These results suggest that one application of RVS-BAP in all the fruit of the cherimoya tree might be performed, preferentially at least 15 days before the first harvest.

**Keywords:** *Annona cherimolla*, fruit firmness, peel color, stilbene, cytokine

#### INTRODUCTION

On the other hand, application of 1.0 mM BAP, 8 or 15 days before harvest in 'Fino de Jete' cherimoya fruit retained 35% of factor 'L' and reduced the increase of factor 'a' of peel color, compared to control, when stored at room temperature, but not when stored at 4°C. It



## 7.2. Anexo 2.

ACTA AGRÍCOLA Y PECUARIA 6: E0061005

<https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061005> (16 de abril de 2020)

ARTÍCULO CIENTÍFICO

# El resveratrol y la 6-bencil amino purina reducen la pérdida de firmeza y color en poscosecha de guanábana (*Annona muricata* L., Annonaceae)

Resveratrol and 6-benzyl amino purine reduce the rate of firmness and weight loss in soursop (*Annona muricata* L., Annonaceae) postharvest

Juan Salomon-Castaño<sup>1</sup>, Juan Manuel Villarreal-Fuentes<sup>2</sup>, Omar Franco-Mora<sup>1</sup>,  
Álvaro Castañeda-Vildózola<sup>3</sup>, Jesús Ricardo Sánchez-Pale<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Horticultura, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Universitario El Cerrillo, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Carretera Toluca-Ixtlahuaca km 15.5, El Cerrillo, Piedras Blancas, 50200, Toluca, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Chiapas, Entronque carretera Costera y Pueblo de Huehuetán, 30660, Huehuetán, Chiapas, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas (UAEM).

\*Autor para correspondencia: ofrancom@uaemex.mx

Fecha de recepción

7 de enero de 2020

Fecha de aceptación

14 de marzo de 2020

Disponible en línea

16 de abril de 2020

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons



### RESUMEN

Principalmente por su naturaleza climática, en guanábana (*Annona muricata* L., Annonaceae) existen pérdidas de 60% de la producción durante la comercialización. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto poscosecha de la aplicación precosecha de una solución acuosa de 1.6 mM de resveratrol (RVS) y 1.0 mM de 6-bencil amino purina (BAP), en frutos de guanábana del Soconusco, Chiapas, México. Se efectuó la aplicación de RVS y BAP o de agua corriente, como control, a frutos de 12 árboles, 10 días antes de cosecha. Una vez cosechados, dichos frutos se almacenaron a 18 °C ± 2, y se evaluó color, firmeza, contenido de compuestos fenólicos y porcentaje de sólidos solubles totales. Los frutos tratados con RVS y BAP duraron 3 días más en almacenamiento que los frutos control. Además, a 5 días de almacenamiento, los frutos tratados con RVS y BAP conservaron 70% de firmeza inicial de cosecha, mientras que los frutos control sólo mantuvieron 30%. La mayoría de los parámetros de color mostraron diferencias significativas entre tratamientos a los 5 y 8 días de almacenamiento: menor cambio de color verde y menor aparición de color marrón en la cáscara de los frutos a los que se aplicó RVS y BAP.

### PALABRAS CLAVE

cáscara, climático, bioregulador vegetal, pigmento

**7.3. Anexo 3. Frutos de chirimoya a los 11 días de almacenamiento.**



Control

RVS + BAP

7.4. Anexo 4. Frutos de guanábana a los 11 días de almacenamiento.



7.5. Anexo 5. Frutos de ilama a los 11 días de almacenamiento bajo 3 temperaturas.

