

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



**APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE BIOPELÍCULAS CON BASE A
MUCÍLAGO Y ALMIDÓN EN FRUTOS DE GUANÁBANA
(*Annona muricata* L.)**

TESIS

Presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestría en
Ciencias en el Área de Ciencias Agrícolas.

ING. MIGUEL ANGEL DE LOS SANTOS SANTOS

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Rosendo Balois Morales

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Orlando Jiménez Zurita

Xalisco, Nayarit; enero de 2020.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/001/2020.

Xalisco, Nayarit; 15 de enero de 2020.

M.C. GLORIA MACHAIN IBARRA
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
NIVEL SUPERIOR Y POSGRADO
P R E S E N T E.

Con base al oficio de fecha 05 de diciembre de 2019, enviado por los **CC. Dr. Rosendo Balois Morales, Dr. José Orlando Jiménez Zurita, Dra. Graciela Guadalupe López Guzmán y Dr. Porfirio Gutiérrez Martínez**, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza al **Ing. Miguel Angel de los Santos Santos**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Agrícolas.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Por lo Nuestro a lo Universal"

Dr. Juan Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado



C.c.p.- Expediente
&mefm



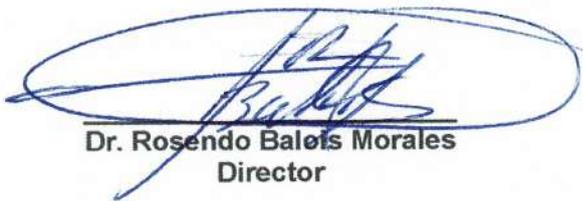
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE NAYARIT

Tepic, Nayarit 05 de diciembre de 2019.

Dr. Juan Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado en
Ciencias Biológico Agropecuarias
Universidad Autónoma de Nayarit
PRESENTE

Los suscritos, integrantes del Comité Tutorial del **Ing. Miguel Angel de los Santos Santos**, declaramos que hemos revisado la tesis titulada **“Aplicación y evaluación de biopelículas con base a mucílago y almidón en frutos de guanábana (*Annona muricata* L.)”** y aprobamos que puede ser presentada para aspirar al grado de Maestro en Ciencias Agrícolas.

Comité tutorial


Dr. Rosendo Balón Morales
Director


Dr. José Orlando Jiménez Zurita
Co-director


Dra. Graciela Guadalupe López Guzmán
Asesor


Dr. Porfirio Gutiérrez Martínez
Asesor



Tecnología de Alimentos

Ciudad de la Cultura "Amado Nervo"
C.P. 63000 Tepic, Nayarit



DEDICATORIAS

Esta tesis está dedicada a:

Mis padres, Miguel Angel de los Santos Ruiz y Rafaela Santos Orozco, a quienes amo con toda mi alma y mi corazón, a ellos por darme su apoyo moral y económico, así como su amor incondicional, a ellos por siempre estar conmigo y ser mi motor y ganas de seguir adelante. Dedico con todo mi amor esta tesis de maestría a mis padres.

Mi hermana Brenda y abuela Teresa, por darme su cariño hermoso y siempre estar pendiente de mí.

A mí, por mi esfuerzo, mis ganas, y a mi bendita paciencia que permitieron culminar esta etapa en mi vida académica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme vida y salud para lograr mis propósitos.

A mis padres, quienes siempre han estado conmigo y me han apoyado en este viaje llamado vida.

A mis asesores, Dr. Rosendo Balois Morales y Dr. José Orlando Jiménez Zurita, por haber confiado en mi capacidad como estudiante, por siempre estar pendiente de mi investigación, lo que permitió terminar en tiempo y forma esta tesis de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme la beca No. 705659 para cursar mis estudios de maestría en un Programa Nacional de Posgrado de Calidad.

A la Universidad Autónoma de Nayarit y a la Coordinación de Tecnología de Alimentos por prestar las instalaciones, así como los equipos y materiales utilizados durante el desarrollo de la investigación.

A mis queridos amigos, Alejandro por ser un excelente amigo, a Yilmar por ser quien nos encaminó desde el primer día, a mi amigo Gabriel por no dejarme solo, a Cindy y Anadely por sus buenos consejos y enseñanzas, a Jorge por ser un buen amigo, a mi amiga Delia por siempre estar. Agradezco a todos y cada uno de ellos por hacer esta etapa de mi vida más fácil.

ÍNDICE GENERAL

Oficio de aprobación.....	ii
Oficio de conformidad del Comité Tutorial	iii
DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN GENERAL.....	1
INTRODUCCIÓN GENERAL	5
HIPÓTESIS.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
METODOLOGÍA GENERAL.....	7
CONCLUSIONES GENERALES.....	8
LITERATURA CITADA	9
Capítulo I.....	11
RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE POLISACÁRIDOS COMO ALTERNATIVA FAVORABLE EN EL ALMACENAMIENTO POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS	11
1.1 RESUMEN	11
1.2 INTRODUCCIÓN	12
1.3 MATERIALES Y MÉTODOS	13
1.3.1 Desarrollo del tema.....	14
1.3.2 Recubrimiento comestible (RC) y película comestible (PC)	15
1.3.3 Desarrollo y formulación de recubrimientos comestibles.....	16
1.3.4 Composición de las matrices estructurales de los recubrimientos comestibles y películas comestibles.....	16
1.3.5 Técnicas para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles	16
1.3.6 Polisacáridos y su uso como recubrimientos	17
1.3.7 El almidón.....	18

1.3.8 Fuentes no convencionales de almidón	19
1.3.9 Uso de recubrimientos a base de biopolímeros en frutos: almidón.....	19
1.4 DISCUSIÓN	21
1.5 CONCLUSIONES	23
1.6 LITERATURA CITADA	24
Capítulo II.	31
APLICACIÓN DE ALMIDÓN COMO RECUBRIMIENTO COMESTIBLE EN FRUTOS DE GUANÁBANA DURANTE SU ALMACENAMIENTO POSCOSECHA: CAMBIOS FISICOQUÍMICOS Y BIOQUÍMICOS	31
2.1 RESUMEN	31
2.2 INTRODUCCIÓN	33
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS	34
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
2.4.1 Pérdida de peso	38
2.4.2 Firmeza	39
2.4.3 pH	40
2.4.4 Sólidos solubles totales.....	41
2.4.5 Acidez titulable.....	43
2.4.6 Color.....	44
2.4.7 Fenoles totales	46
2.4.8 DPPH.....	47
2.4.9 ABTS	48
2.4.10 FRAP	49
2.4.11 Flavonoides	51
2.4.12 Vitamina C.....	52
2.5 CONCLUSIONES	54
2.6 LITERATURA CITADA	54
Capítulo III.....	63
RECUBRIMIENTO A BASE DE MUCÍLAGO DE JAMAICA APLICADO A FRUTOS DE GUANÁBANA EN ALMACENAMIENTO POSCOSECHA	63
3.1 RESUMEN	63

3.2 INTRODUCCIÓN	65
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS	66
3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
3.4.1 Pérdida de peso	70
3.4.2 Firmeza	71
3.4.3 pH	72
3.4.4 Sólidos solubles totales (SST)	73
3.4.5 Acidez titulable	75
3.4.6 Color (LCh)	76
3.4.7 Contenido de fenoles totales (CFT)	79
3.4.8 DPPH	80
3.4.9 ABTS	82
3.4.10 FRAP	82
3.4.11 Flavonoides	84
3.4.12 Vitamina C	84
3.5 CONCLUSIONES	86
3.6 LITERATURA CITADA	86
3.7 PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES	95
3.8. AGRADECIMIENTOS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1

Tabla 1. Número de publicaciones científicas desde el año 2004 a 2019.	15
Tabla 2. Recubrimientos comestibles elaborados de distintas fuentes de almidón.	21
Tabla 3. Recubrimientos a base de polisacáridos aplicados en frutos.	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo II

Figura 1. Comportamiento de pérdida de masa (A), firmeza (B), pH (C) y sólidos solubles totales (D) en frutos de guanábana almacenados a 22 °C y 15 °C. Cada punto	
---	--

representa la media de seis observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.	42
Figura 2. Comportamiento de la acidez titulable (A), luminosidad (B), cromaticidad (D) y °Hue (D) en frutos de guanábana a 22 y 15 °C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.	46
Figura 3. Contenido de fenoles totales (A) y actividad antioxidante (ABTS, DPPH Y FRAP) (B, C y D) en frutos de guanábana a 22 y 15 °C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.	51
Figura 4. Contenido de flavonoides (A) y vitamina C (B) en frutos de guanábana a 22 y 15 °C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.	53

Capitulo III

Figura 1. Comportamiento de pérdida de masa (A), firmeza (B), pH (C) y sólidos solubles totales (D) en frutos de guanábana almacenados a 22 °C y 15 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.	75
Figura 2. Comportamiento de acidez titulable (A), Luminosidad (B), Cromaticidad (C) y °Hue (D) en frutos de guanábana almacenados a 22 °C y 15 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.	79
Figura 3. Contenido de fenoles totales (A) y AOX (ABTS, DPPH Y FRAP) (B, C y D) en frutos de guanábana a 22 y 15 °C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.	83
Figura 4. Contenido de flavonoides (A) y vitamina C (B) en frutos de guanábana a 22 y 15 °C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.	86

APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE BIOPELÍCULAS CON BASE A MUCÍLAGO Y ALMIDÓN EN FRUTOS DE GUANÁBANA (*Annona muricata* L.)

RESUMEN GENERAL

La poscosecha es una etapa del proceso agroindustrial que se delimita desde el punto de cosecha del fruto hasta su consumo o senescencia, sin embargo, algunos productos son altamente perecederos, lo que significa que tienen una corta vida de anaquel. Esto último es resultado de la alta tasa de respiración de los frutos después de la cosecha y las condiciones de manejo, así como factores extrínsecos como la temperatura y humedad relativa, lo que conlleva a un rápido ablandamiento en las paredes celulares y que, a su vez, hace del fruto un producto susceptible al daño mecánico y microbiológico. Dentro de las técnicas utilizadas en el almacenamiento de los productos hortofrutícolas se encuentra el uso de bajas temperaturas, atmósferas controladas y atmósferas modificadas, que ayudan a retardar los procesos metabólicos durante la maduración, sin embargo, temperaturas de refrigeración podrían causar daños por frío en los productos y el uso de atmósferas puede resultar costoso. Dentro de las alternativas para el almacenamiento de productos hortofrutícolas resalta el uso de recubrimientos comestibles elaborados a base de materiales renovables como lípidos, proteínas y polisacáridos. Los recubrimientos comestibles crean una capa semipermeable a gases que contribuye retardando los procesos de maduración en el fruto dando como resultado una vida de anaquel más prolongada. En este contexto, se evaluó el efecto de recubrimientos comestibles en frutos de guanábana provenientes de un huerto comercial ubicado en Tepic, Nayarit. Los frutos fueron utilizados para evaluar el efecto de recubrimientos a base de almidón y mucílago sobre la maduración de los frutos durante su almacenamiento poscosecha. La cosecha de los frutos se realizó en febrero (primera etapa) y septiembre (segunda etapa) de 2019, se utilizaron frutos en madurez fisiológica tomando en cuenta los 160 días después de la antesis, estado de madurez adecuado para la cosecha, así como la experiencia de corte del dueño del huerto. El objetivo de la primer etapa de la investigación fue evaluar los cambios en pérdida de peso, firmeza, pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y color, así como la actividad antioxidante por los métodos DPPH, ABTS y FRAP, el contenido de fenoles, flavonoides y vitamina C durante la maduración de frutos de guanábana sin y con recubrimiento a base de almidón (2 %), almacenados a 22 y 15 °C con una humedad relativa del 90 %, cuyos resultados fueron: los frutos recubiertos

presentaron menor pérdida de peso (6.11 y 10.26 %) y mayor firmeza (39 y 19 N). La acidez titulable aumentó durante la maduración, observándose un porcentaje mayor en los frutos recubiertos y almacenados a 22 °C (0.94 y 0.8 %). El pH fue menor en frutos almacenados a 22 °C (3.9). La concentración de SST fue menor en frutos recubiertos y almacenados a 15 °C (11.29). El color disminuyó durante el almacenamiento de los frutos. Los frutos almacenados a 15 °C con recubrimiento presentaron la mayor actividad antioxidante (DPPH y FRAP) (285 y 15.92 mg EAA/100 g.p.f.) respectivamente. Los frutos almacenados a 15 °C mostraron la menor actividad antioxidante (ABTS) (46.5 y 52.4 mg EAA/100 g.p.f.). La menor concentración de compuestos fenólicos se observó en los frutos almacenados a 15 °C (90.6 y 93.98 mg EAG/100 g.p.f.). La concentración de vitamina C y flavonoides fue mayor en los frutos con recubrimiento almacenados a 15 °C (31.79 mg EAA/100 g.p.f. y 95.93 mg EQ/100 g.p.f.). Se observó que el uso de recubrimientos comestibles a base de almidón (2 %) durante el almacenamiento poscosecha a 15 °C de los frutos de guanábana incrementó la vida de anaquel (12 días) y mantiene las propiedades bioquímicas sin causar alteraciones en el proceso de maduración. La segunda etapa de la investigación tuvo como objeto evaluar los cambios fisicoquímicos, bioquímicos y actividad antioxidante de frutos de guanábana con recubrimiento a base de mucílago (2%) y almacenados a 22 y 15 °C con una HR del 90 %. Se evaluó pérdida de masa, firmeza, color, sólidos solubles, acidez, pH, fenoles, flavonoides, vitamina C y actividad antioxidante. Los resultados obtenidos: los frutos con recubrimiento almacenados a 15 °C presentaron menor pérdida de peso (6.4 %), menor firmeza (29.7 N), mayor concentración de SST (10.4 °Brix), baja acidez (0.38 %). El contenido de fenoles totales disminuyó en los frutos con recubrimiento almacenados a 22°C (54.3 mg EAA / 100 g.p.f.). La mayor actividad antioxidante fue por el método DPPH en frutos recubiertos y almacenados a 15 °C (257.9 mg EAA / 100 g.p.f.). La concentración de vitamina C en frutos recubiertos y almacenados a 15 y 22 °C fue de 20.5 y 17.5 mg EAA / 100 g.p.f. respectivamente, concluyendo que el recubrimiento de mucílago de jamaica al 2 %, aplicado en frutos almacenados a 15 °C, evita la pérdida de peso, disminución de la acidez titulable, incrementa el contenido de fenoles y de vitamina C; así mismo durante la madurez de consumo se incrementa la actividad antioxidante y una vida de anaquel de hasta ocho días sin observarse alteraciones en el proceso de maduración de los frutos.

APPLICATION AND EVALUATION OF BIOFILMS BASED ON MUCILAGE AND STARCH IN SOURSOP FRUITS (*Annona muricata* L.)

GENERAL SUMMARY

Postharvest is a stage of the agroindustry process that is delimited from the harvest of the fruit until the consumption or senescence. However, some products are highly perishable, which means that they have a short shelf life as a result of the high respiration rate of the fruits after harvest and the handling conditions, as well as extrinsic factors such as temperature and relative humidity, which leads to rapid softening of the cell walls. This behavior makes the fruit a product susceptible to mechanical and microbiological damage. Among the techniques used in the storage of fruits, the use of low temperatures, controlled atmospheres and modified atmospheres can be found. These technologies delay metabolic processes during ripening. Nevertheless, refrigeration could cause cold damage and the use of atmospheres can be expensive. Among the alternatives for the storage of fruits and vegetables, the use of edible coatings made from renewable materials such as lipids, proteins and polysaccharides rise as an alternative to the technologies previously mentioned. Edible coatings create a semipermeable gas layer that contributes to delay in the ripening processes in the fruit, causing a longer shelf life. In this context, the effect of edible coatings on soursop fruits from a commercial orchard located in Tepic, Nayarit was evaluated. The fruits were used to evaluate the effect of starch and mucilage based coatings on fruit ripening during postharvest storage. Fruits were harvested in February (first stage) and September (second stage) of 2019 at physiological maturity, around 160 days after the anthesis, adequate ripeness for harvest and according to the experience of the farmer. The objective of the first stage of the investigation was to evaluate the changes in weight loss, firmness, pH, total soluble solids, titratable acid and color, as well as the antioxidant activity by the DPPH, ABTS and FRAP methods, the phenolic content, Flavonoids and vitamin C during ripening of soursop fruits without and with a starch-based coating (2%), stored at 22 and 15 ° C with a relative humidity of 90%. The results were the following: the coated fruits showed less loss of weight (6.11 and 10.26%) and greater firmness (39 and 19 N). Titratable acidity increased during ripening, with a higher percentage observed in fruits coated and stored at 22 ° C (0.94 and 0.8%). The pH was lower in fruits stored at 22 ° C (3.9). The concentration of SST was lower in fruits coated and stored at 15 ° C (11.29). The color decreased during fruit storage.

Fruits stored at 15 ° C with coating had the highest antioxidant activity (DPPH and FRAP) (285 and 15.92 mg EAA / 100 g.f.w.) respectively. Fruits stored at 15 ° C showed the lowest antioxidant activity (ABTS) (46.5 and 52.4 mg EAA / 100 g.f.w.). The lowest concentration of phenolic compounds was observed in fruits stored at 15 ° C (90.6 and 93.98 mg EAG / 100 g.f.w.). The concentration of vitamin C and flavonoids was higher in coated fruits stored at 15 ° C (31.79 mg EAA / 100 g.p.f. and 95.93 mg EQ / 100 g.f.w.). It was observed that the use of edible starch-based coatings (2%) during post-harvest storage at 15 ° C of soursop fruits increased the shelf life (12 days) and maintains biochemical properties without causing alterations in the process of maturation. The second stage of the investigation was aimed at assessing the physicochemical, biochemical and antioxidant activity of soursop fruits with a mucilage-based coating (2%) and stored at 22 and 15 ° C with a 90% RH. Loss of mass, firmness, color, soluble solids, acidity, pH, phenols, flavonoids, vitamin C and antioxidant activity was evaluated. The results obtained: coated fruits stored at 15 ° C showed lower weight loss (6.4%), lower firmness (29.7 N), higher SST concentration (10.4 ° Brix), low acidity (0.38%). The total phenolic content decreased in coated fruits stored at 22 ° C (54.3 mg EAA / 100 g.f.w.). The highest antioxidant activity was by the DPPH method in fruits coated and stored at 15 ° C (257.9 mg EAA / 100 g.f.w.). The concentration of vitamin C in coated and stored fruits at 15 and 22 ° C was 20.5 and 17.5 mg EAA / 100 g.f.w. respectively, concluding that the 2% rosella mucilage coating, applied to fruits stored at 15 ° C, prevents weight loss, decreased titratable acidity, increases the content of phenols and vitamin C; also during the maturity of consumption increases antioxidant activity and a shelf life of up to eight days without observing alterations in the process of ripening of the fruits.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Annona muricata L., comúnmente conocida como guanábana, es uno de los frutos más importantes del género de las Annonaceae (Rabelo *et al.*, 2016), es una planta nativa de Sudamérica que está ampliamente distribuida en regiones tropicales y subtropicales del mundo (Solís-Fuentes *et al.*, 2011). El fruto de guanábana es considerado exótico y se consume preferentemente en fresco o en subproductos procesados (pulpa, néctar, jugos, etc.), es altamente apreciado por su sabor agridulce y por su aroma característico (De Hernández *et al.*, 2012). El fruto de guanábana es climatérico y altamente perecedero con una corta vida de anaquel causada por su ablandamiento acelerado inducido por su alta respiración y producción de etileno, lo que conlleva a varios problemas en su manejo poscosecha y en consecuencia su almacenamiento y comercialización se ven limitados (Jiménez-Zurita *et al.*, 2017). Debido a esto, los períodos extendidos de almacenamiento del fruto aún no son posibles, principalmente debido a la alta susceptibilidad a la lesión por frío (Pareek *et al.*, 2011). En México, no existe un sistema poscosecha desarrollado adecuadamente para los frutos de guanábana, por lo tanto, varios problemas de manejo siguen siendo comunes especialmente durante el transporte y la comercialización, observándose hasta un 60 % de pérdidas (Pareek *et al.*, 2011; Tovar *et al.*, 2011). Existen investigaciones que han sido reportadas en las cuales se utilizan tecnologías de manejo poscosecha aplicando temperaturas de refrigeración, envasado en atmósfera modificada, inhibidores del etileno y revestimientos comestibles (Jiménez-Zurita *et al.*, 2017; Moreno-Hernández *et al.*, 2014; Lima y Alves, 2011).

El estado de Nayarit cuenta con la mayor producción (21, 860.02 ton) de guanábana a nivel nacional (SIAP, 2018), por lo que es importante realizar investigación en este fruto utilizando técnicas de almacenamiento que prolonguen la vida de anaquel de este. Por lo tanto, es necesario explorar alternativas tecnológicas, que permitan resolver este problema de los productos durante su manejo poscosecha. Dentro de las alternativas que se han desarrollado, se encuentra la aplicación de recubrimientos comestibles en productos hortofrutícolas, esto como resultado del creciente interés de los consumidores hacia productos sanos, nutritivos, naturales (Raspo *et al.*, 2018). El empleo de recubrimiento comestible a base de polisacáridos, ha jugado un papel importante en la industria de

alimentos y ha demostrado ser efectivos en el almacenamiento de productos hortofrutícolas controlando la permeabilidad de gases, el crecimiento microbiano, así como manteniendo las características deseadas por los consumidores como, apariencia fresca, firmeza, brillo, color y valor comercial (Cazón *et al.*, 2017).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de recubrimientos comestibles a base de polisacáridos (almidón y mucílago) sobre los cambios bioquímicos y fisiológicos en frutos de guanábana a dos condiciones de almacenamiento poscosecha. Para ello, se evaluaron los cambios en la pérdida de peso, firmeza, pH, sólidos solubles totales, acidez titulable, color, así como la actividad antioxidante mediante los métodos DPPH, ABTS Y FRAP, concentración de fenoles totales, flavonoides y vitamina C.

HIPÓTESIS

Los recubrimientos a base de almidón y mucílago incrementarán la vida de anaquel y mantendrán las características fisicoquímicas y bioquímicas del fruto de guanábana durante su almacenamiento poscosecha.

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de biopelículas de almidón y mucílago sobre los parámetros fisicoquímicos y bioquímicos en frutos de guanábana durante su almacenamiento poscosecha a dos temperaturas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los cambios fisicoquímicos de los frutos de guanábana tratados con recubrimientos de almidón y mucílago durante su almacenamiento poscosecha.
- Determinar la concentración de compuestos fenólicos, flavonoides, vitamina C y la actividad antioxidante por los métodos DPPH, ABTS y FRAP.

METODOLOGÍA GENERAL

La investigación consistió en aplicar recubrimientos comestibles a base de polisacáridos (almidón de guanábana y mucílago de jamaica) en frutos de guanábana en almacenamiento poscosecha a dos condiciones de temperatura. Los frutos evaluados fueron cosechados manualmente en estado de madurez fisiológica (160 días después de la antesis) provenientes de un huerto comercial situado en el ejido Venustiano Carranza, municipio de Tepic, Nayarit (21° 32' 2.77" N, 104° 58' 37.73" O, 893 msnm).

La presente investigación se realizó en dos etapas:

La primera etapa de la investigación (aplicación de almidón) se realizó con frutos cosechados en el mes de febrero de 2019, mientras que en una segunda etapa (aplicación de mucílago) se utilizaron frutos cosechados en el mes de septiembre de 2019. En ambas etapas, se evaluó el comportamiento fisiológico y bioquímico de los frutos durante el almacenamiento poscosecha hasta alcanzar su madurez de consumo. Los frutos fueron almacenados bajo dos condiciones de temperatura (por cuatro días):

- 1) 22 °C y 90 % humedad relativa
- 2) 15 °C y 90 % humedad relativa, posterior a los cuatro días, los frutos fueron transferidos a 22 °C y 90 % humedad relativa.

CONCLUSIONES GENERALES

Los frutos de guanábana recubiertos con almidón y mucílago presentaron menor pérdida de peso y baja acidez titulable, alto contenido de sólidos solubles totales y mayor firmeza. El color verde de la cáscara de los frutos de guanábana no se vio afectado por el recubrimiento en ambos casos. Los recubrimientos a base de almidón y mucílago aplicados en frutos de guanábana y el almacenamiento en frío permitieron un incremento en la concentración de vitamina C, flavonoides y actividad antioxidante sin observarse daños por frío, mientras que el mayor contenido de fenoles totales solo fue observado en los frutos recubiertos con almidón y almacenados a 22 °C. El recubrimiento a base de almidón permitió un incremento de la vida de anaquel de los frutos hasta por 12 días.

LITERATURA CITADA

- Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., y Vázquez, M. 2017.** Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68: 136-148.
- De Hernández, Á., Pérez de Camacaro, M., Giménez, A., y Hernández Caraballo, E. 2012.** La guanábana: una materia prima saludable para la industria de alimentos y bebidas. *Revista Digital de Investigación y Postgrado - Barquisimeto*, 2: 134-142.
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Juárez-López, P., Jiménez-Ruiz, E. I., Sumaya-Martínez, M. T., y Bello-Lara, J. E. 2017.** Tópicos del manejo poscosecha del fruto de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5): 1155-1167.
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Sánchez Herrera, L. M., Jiménez-Ruiz, E. I., Bello-Lara, J. E., García-Paredes J. D., y Juárez-López P. 2017.** Cold storage of two selections of soursop (*Annona muricata* L.) in Nayarit, Mexico. *Journal of Food Quality*, 2017:1-9.
- Lima, M. A., y Alves, R. E. 2011.** Soursop (*Annona muricata* L.). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, 4: 363-391.
- Moreno-Hernández, C. L., Sáyago-Ayerdi, S. G., García-Galindo, H. S., Mata-Montes M. y Montalvo-González. 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*, 2014:1-6.
- Pareek, S., Yahia, E. M., Pareek, O. P., y Kaushik, R. A. 2011.** Postharvest physiology and technology of annona fruits. *Food Research International, Exotic Fruits: their composition, Nutraceutical and Agroindustrial potential*, 44: 1741-1751.
- Rabelo, S. V., Quintans, J. de S. S., Costa, E. V., Guedess da Silva, J. R., y Quintans, L. J. 2016.** Chapter 24- *Annona* species (Annonaceae) oils. *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, 221-229.
- Raspo, M., Gómez, C., y Andreatta, A. 2018.** Optimization of antioxidant, mechanical and chemical physical properties of chitosan-sorbitol-gallic acid films by response surface methodology. *Polymer Testing*, 70: 180-187.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2019. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. <http://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Junio 2019).

Solís-Fuentes, J. A., Hernández-Medel, M., y Durán de Bazúa, M. A. 2011. Soursop (*Annona muricata* L.) seeds, therapeutic and possible food potential. Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention, 1045-1052.

Tovar-Gómez, B., Mata-Montes de Oca, M., García-Galindo, H. y Montalvo-González, E. 2011. Efecto de emulsiones de cera y 1-metilciclopropeno en la conservación poscosecha de guanábana. Revista Chapingo Serie Horticultura, 17(Especial 1): 53-61.

Capítulo I.

RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE POLISACÁRIDOS COMO ALTERNATIVA FAVORABLE EN EL ALMACENAMIENTO POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS

EDIBLE COATINGS BASED ON POLYSACCHARIDES AS A FAVORABLE ALTERNATIVE IN POST-HARVEST STORAGE OF FRUITS AND VEGETABLES

Miguel Angel de los Santos-Santos¹, José Orlando Jiménez-Zurita², Rosendo Balois-Morales², Graciela Guadalupe López-Guzmán², Yolotzin Apatzingán Palomino-Hermosillo², Irán Alia-Tejaca³

¹Programa de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias, Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela, km. 9. C.P. 63780, Xalisco, Nayarit. México.

²Unidad de Tecnología de Alimentos-Secretaría de Investigación y Posgrado-Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura S/N Col. Centro, Tepic Nayarit. México.

³Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad Núm. 1001, Col. Chamilpa. C.P. 62209, Cuernavaca Morelos, México.

*Autor para correspondencia (zurit_8@hotmail.com).

1.1 RESUMEN

Los recubrimientos comestibles se utilizan como técnicas que ayudan a retardar la maduración de los productos hortofrutícolas al disminuir la tasa de respiración, la pérdida de peso por deshidratación, y a su vez la pérdida de firmeza. Actualmente, existe un creciente interés en el uso de recubrimientos comestibles debido a que se consideran una técnica conveniente y segura, ya que provienen de fuentes naturales no convencionales. Sin embargo, existe poca información acerca de recubrimientos a base de fuentes no convencionales y su funcionalidad en los alimentos. El objetivo de esta investigación es recopilar información acerca de investigaciones relevantes relacionadas con la aplicación de recubrimientos comestibles a base de almidón y los efectos que éstos tienen sobre la vida poscosecha de los frutos. La búsqueda de información se realizó mediante la revisión de artículos científicos

pertinentes, se consultaron diversas bases de datos dentro de las cuales destacan Scielo, Elsevier, Redalyc, Sience Direct, Wiley Online Library, entre otras.

Palabras clave: almidón, biodegradable, biopolímero, conservación, polisacárido.

Abstract

Edible coatings and edible films are used as techniques that help slow the maturation of fruits and vegetables by decreasing their respiration rate, delaying their weight loss by dehydration, and in turn prolonging their loss of firmness. Currently, there is a growing interest in the use of edible coatings because it is considered a convenient and safe technique since they come from unconventional natural sources. However, there is little information about coatings based on unconventional sources and their functionality in food. The objective of this research is to collect information about relevant research related to the application of edible coatings based on starch and the effects they have on the post-harvest life of the fruits. The search for information was made by reviewing relevant scientific articles, several databases were consulted, among which Scielo, Elsevier, Redalyc, Sience Direct, Wiley Online Library, among others.

Keywords: biodegradable, conservation, polymer, polysaccharide, starch.

1.2 INTRODUCCIÓN

Los cambios en el estilo de vida que la gente experimenta en los últimos años, así como su mayor conciencia de la importancia de ingerir alimentos saludables, han causado un incremento en el consumo de alimentos listos para comer, en especial de frutas frescas (García *et al.*, 2011) en este contexto, las frutas y hortalizas recién cortadas son bienvenidas por los consumidores debido al deseo de productos nuevos y naturales y al cambio en el estilo de vida de los consumidores (Yousuf y Srivastava, 2015). Según la FAO, en el 2017 el desperdicio de alimentos perecederos fue de aproximadamente 1,300 millones de toneladas (FAO, 2018), estas mermas son provocadas por el inadecuado manejo poscosecha, ocasionado por daños físicos, microbiológicos y de almacenamiento (Maki-Díaz *et al.*, 2015). De acuerdo con esto último, la conservación de los alimentos es esencial en la

alimentación humana por lo que es fundamental utilizar técnicas de almacenamiento sanas y seguras para los consumidores (Castro-García *et al.*, 2017). La calidad inicial del fruto cosechado no puede ser mejorada con la aplicación de tecnologías durante el periodo poscosecha, sin embargo, es posible mantenerla con métodos de almacenamiento, de los cuales destacan el uso de empaques, sistemas de refrigeración, atmósferas controladas o modificadas (De la Vega *et al.*, 2017). Una alternativa de almacenamiento poscosecha es el uso recubrimientos comestibles elaborados a partir de polisacáridos, éstos crean una capa semipermeable en el fruto que permite el intercambio gaseoso y disminuye los procesos metabólicos, lo cual retrasa la maduración e incrementa la vida poscosecha del fruto (Vázquez-Briones *et al.*, 2013; Ramírez *et al.*, 2013). Los recubrimientos comestibles sirven como portadores de sustancias antimicrobianas, antioxidantes y otras sustancias funcionales que mejoran su funcionalidad y a su vez garantizan la seguridad alimentaria y mejora de la estabilidad, propiedades sensoriales y nutricionales de los productos frescos (Zhao, 2018). En el contexto anterior, el recubrimiento se considera un método conveniente y seguro, por lo tanto, cada vez más es de mayor interés en la industria alimentaria (Mantilla *et al.*, 2013). La presente revisión tiene como objetivo recopilar información mediante una síntesis de diversas investigaciones relevantes publicadas referentes al desarrollo y estudio de recubrimientos comestibles haciendo énfasis en la cadena hortofrutícola.

1.3 MATERIALES Y MÉTODOS

Primeramente, se realizó una revisión de literatura científica disponible, de la cual se incluyeron artículos científicos y libros disponibles en la web publicados hasta el año 2019, se usaron las siguientes bases de datos: Google Scholar, Scopus, Science Direct, Springer Link y Scielo, y se utilizaron términos en inglés como *starch*, *postharvest*, *storage*, *edible coating*, *edible films*, entre otros. Además, se realizaron consultas sobre el desarrollo y composición de los recubrimientos comestibles, así como su aplicación y el efecto que este tiene sobre la maduración de los productos hortofrutícolas.

Los criterios que se utilizaron durante la revisión bibliográfica incluyeron:

- Que los documentos abordaran temas relacionados con la poscosecha de productos hortofrutícolas.

- Que el tema de los artículos o libros fuesen de recubrimientos comestibles o películas comestibles.
- Así mismo, que los recubrimientos comestibles utilizados fueran elaborados a partir de polisacáridos.

1.3.1 Desarrollo del tema

Para la revisión de literatura de este artículo se implementaron términos como poscosecha, que se refiere a la fase de un sistema de suministro de alimentos que conecta el momento de la cosecha con el momento del consumo (Banks, 2014). De acuerdo a lo anterior, se abordaron temas relacionados con recubrimientos comestibles a base de polisacáridos y su aplicación en poscosecha.

Las referencias se incluyen en la tabla 1, y se puede observar que la información relacionada con los recubrimientos comestibles ha aumentado con los años. Se incluyeron 60 referencias bibliográficas de las cuáles 7 (11.6 %) fueron publicadas entre los años 2004-2009; 20 (33.33 %) entre los años 2010-2014 y 33 (55 %) hasta el año 2019, observándose que en este rango se encontró la mayor información. Los temas predominantes en el historial de búsqueda fueron almidón (25 %), poscosecha (17 %), almacenamiento poscosecha (18 %), recubrimiento comestible (28 %) y polisacáridos (12 %).

Tabla 1. Número de publicaciones científicas desde el año 2004 a 2019.

% de citas / año	Año	# de citas	% por año	% entre años
2004-2009	2004	1	1.7	11.67
	2005	1	1.7	
	2007	2	3.3	
	2008	2	3.3	
	2009	1	1.7	
2010-2014	2010	2	3.3	33.33
	2011	2	3.3	
	2012	3	5.0	
	2013	7	11.7	
	2014	6	10.0	
2015-2019	2015	7	11.7	55.00
	2016	5	8.3	
	2017	7	11.7	
	2018	10	16.7	
	2019	4	6.7	
Total:		60	100	100

Fuente: Elaborado por los autores.

1.3.2 Recubrimiento comestible (RC) y película comestible (PC)

La diferencia entre una película y un recubrimiento comestible es la forma de elaborarlos y aplicarlos en el alimento (Solano-Doblado *et al.*, 2018). Una película es una capa delgada de material comestible, formada por separado y que es colocada sobre una superficie nivelada para su posterior uso (Sharma y Rao, 2015). Un recubrimiento se define como el revestimiento de un producto vegetal con una o varias capas finas de material polimérico natural y comestible que se aplica sobre la superficie de un alimento, ya sea por inmersión en una disolución o por aspersión (Valencia-Chamorro *et al.*, 2011). Estos mismos autores mencionan que la principal diferencia entre RC y PC, es que los RC son aplicados en forma líquida por inmersión o pulverización lo que permite dar forma a la película sobre el alimento, mientras que las PC son primero preformadas como láminas sólidas y después colocadas ya formadas sobre el alimento.

1.3.3 Desarrollo y formulación de recubrimientos comestibles.

Thakur *et al.* (2019) han argumentado que el desarrollo de una formulación eficaz debe basarse principalmente en conocer el comportamiento del material de cobertura antes de su uso, para lo cual se es necesario evaluar sus propiedades independientes que incluyen el espesor de la película, la solubilidad, el contenido de humedad, la permeabilidad al vapor de agua (WVP), las propiedades de barrera al oxígeno, la transparencia, el color, la resistencia a la tracción, el alargamiento a la rotura, el módulo de elasticidad y sus características antimicrobianas.

1.3.4 Composición de las matrices estructurales de los recubrimientos comestibles y películas comestibles.

De acuerdo a Dhall (2013), los recubrimientos y películas comestibles se pueden agrupar en tres categorías de acuerdo a su estructura:

1. Hidrocoloides: Forman recubrimientos con buenas propiedades mecánicas y barrera para los gases (O₂ y CO₂). Están constituidos por polisacáridos y proteínas de origen animal o de origen vegetal.
2. Lípidos: Están formados por compuestos no poliméricos con poca capacidad de formar películas, no obstante, se pueden combinar con hidrocoloides para mejorar las propiedades de barrera.
3. Polisacáridos. Los polisacáridos más utilizados por su abundancia en la naturaleza para la formación de recubrimientos en frutas y hortalizas son celulosa, almidón y quitosano.

1.3.5 Técnicas para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles

La elaboración de las películas y recubrimientos comestibles se puede realizar de diversas maneras. Dentro de las técnicas utilizadas destacan las siguientes:

1. Eliminación del disolvente. Esta técnica consiste en formar una estructura molecular mediante interacciones físicas y químicas que resulta de incorporar un material hidrocoloide con un disolvente adicionado con plastificantes, el cual posteriormente es eliminado, el producto final es una capa delgada seca (Cagri *et al.*, 2004).

2. Gelación térmica. La técnica consiste en formar un gel estable de estructura rígida mediante la desnaturalización de polisacáridos y/o proteínas por tratamiento térmico, el cual es utilizado para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles (Carmona *et al.*, 2007).
3. Solidificación. Este método consiste en disolver macromoléculas con un plastificante hasta su completa homogeneización, la solución final es vertida en moldes (Ávila-Sosa *et al.*, 2012).
4. Por el método de “Casting”. Una vez realizada la disolución de los componentes de la película, se evapora el disolvente a temperatura y humedad controlada, esto provoca la formación de la película (Escobar *et al.*, 2009).
5. Pulverización electro hidrodinámica. El método consiste en atomizar el líquido formador de la película mediante un alto potencial eléctrico, el resultado es la producción de micro y nano-película delgadas (Jaworek y Sobczyk, 2008).

1.3.6 Polisacáridos y su uso como recubrimientos

Las películas obtenidas a partir de biopolímeros son de gran interés en la industria debido a que presentan la propiedad de ser biodegradables; además, si se le adicionan ciertas sustancias bioactivas las propiedades pueden mejorar, así como la liberación controlada de compuestos bioactivos que permitiría prolongar la vida poscosecha del producto recubierto (Raspo *et al.*, 2018).

Los polisacáridos como los derivados de la celulosa, el quitosano, los almidones y las gomas se han informado como materia prima para preparar películas y revestimientos comestibles que pueden utilizarse como material de envasado para la conservación de alimentos (Cazón *et al.*, 2017), así como algunos hidrocoloides como las gomas arábica y xantana, que siguen el ciclo de los polímeros biodegradables debido a la fuente de donde son extraídos, y sirven como base para producir un polímero con el cual se pueden fabricar películas, bolsas y empaques bioplásticos (López *et al.*, 2010).

La celulosa constituye el recurso polimérico renovable más abundante disponible en la naturaleza y se ha informado ampliamente como materia prima para películas biodegradables

principalmente debido a su renovabilidad, bajo costo, no toxicidad, biocompatibilidad, biodegradabilidad y estabilidad (Cazón *et al.*, 2017).

Las buenas propiedades de formación de película del quitosano permiten la producción de películas y materiales de revestimiento con buenas propiedades mecánicas y una permeabilidad selectiva al CO₂ y al O₂ (Aider, 2010).

Las películas y los recubrimientos comestibles, basados en polisacáridos, son actualmente una alternativa para el empaque de alimentos, por su biodegradabilidad y bajo costo de producción, sin embargo, su naturaleza higroscópica y su inestabilidad física son limitantes importantes (Rafieian *et al.*, 2014). Dentro de las propiedades formadoras de películas en el almidón se encuentra la amilosa, las películas de almidón tienen excelentes propiedades de barrera al oxígeno debido a su alta estructura de red unida por puentes de hidrógeno en la que la amilosa y la amilopectina forman regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternas (Cazón *et al.*, 2017).

Las principales propiedades funcionales de los materiales hidrofílicos dependen de su contenido de agua (Slavutsky y Bertuchi, 2015). El estudio de las propiedades de barrera al vapor de agua genera información sobre la interacción entre las películas comestibles y la humedad durante el procesamiento y el almacenamiento (Bertuzzi *et al.*, 2007; Chinma *et al.*, 2015). Para mejorar las propiedades de los bioplásticos, incluida la permeabilidad al vapor de agua y las propiedades mecánicas, se han desarrollado diversos métodos para reforzar los biopolímeros, mediante la incorporación de nanopartículas o la fabricación de materiales nanoestructurados, derivados de estos biopolímeros, sin interferir con la biodegradabilidad y biocompatibilidad de dichos compuestos (Avella *et al.*, 2005).

1.3.7 El almidón

El almidón es un polisacárido vegetal que ha sido ampliamente utilizado para el desarrollo de recubrimientos comestibles debido a sus excelentes habilidades para formar películas (Thakur *et al.*, 2016). Este polisacárido es componente principal de muchos productos alimenticios y es un ingrediente importante para diversas industrias alimentarias y no

alimentarias (Zhu, 2018). El almidón es un carbohidrato polimérico compuesto de 1, 4 unidades de D-glucosa enlazadas el cual está constituido principalmente de amilosa y amilopectina, en este sentido, la composición de estos componentes puede influir en las propiedades del recubrimiento elaborado a base de almidón (Wani *et al.*, 2012). Las películas con mayor cantidad de amilosa poseen típicamente mejores características de formación de película que incluyen resistencia mecánica, alargamiento y gas propiedades de barrera (Thakur *et al.*, 2019).

1.3.8 Fuentes no convencionales de almidón

Los polímeros de base biológica son materiales con propiedades ecológicas y biodegradables, estos se fabrican a partir de biomasa renovable a través de métodos biológicos, físicos o químicos (Félix *et al.*, 2017). La demanda comercial de almidón en las industrias alimentarias y no alimentarias ha incrementado continuamente, debido a su bajo precio, abundancia y versatilidad, sin embargo, existe una afectación de la oferta del almidón debido a que existe un uso masivo de fuentes de almidón de alimentos convencionales por lo que existe la alternativa de utilizar fuentes no convencionales para satisfacer la gran demanda del mismo (Nawab *et al.*, 2016).

El almidón proviene de distintas fuentes y ha sido ampliamente probado como componente principal en la elaboración de RC aplicados a diversos alimentos, por lo que es importante obtener almidones de fuentes no convencionales, como alternativas para obtener almidones que presenten diversas características fisicoquímicas, estructurales y funcionales, que amplíen la gama de usos en la industria (Hernández *et al.*, 2008). Dentro de las fuentes no convencionales de almidón se encuentran el camote (*Ipomoea batatas* L.) (Zhu y Wang, 2014), el mijo (*Setaria italica* L.) (Zhu, 2014), la yuca (*Manihot esculenta* C.) (Díaz *et al.*, 2018), el plátano (*Musa acuminata* C.) (Chávez-Salazar *et al.*, 2017), el mango (*Mangifera indica* L.) (Cárdenas-Coronel *et al.*, 2012), entre otros.

1.3.9 Uso de recubrimientos a base de biopolímeros en frutos: almidón

El almidón es un polímero comestible que se puede usar en combinación con agentes antimicrobianos como recubrimientos delgados para prolongar la vida útil de los alimentos

(Sánchez-Ortega *et al.*, 2016), las películas y los revestimientos hechos de almidón se aplican ampliamente porque son transparentes, inodoros, insípidos y tienen una buena barrera de CO₂ y O₂ (Hassan *et al.*, 2018). Thakur *et al.* (2019), sugiere que un recubrimiento comestible a base de almidón debe cumplir con las siguientes características: a) buenas propiedades mecánicas y ópticas, b) no debe fermentar, coagular, separar o desarrollar sabores desagradables, c) y no debe agrietarse, decolorarse ni pelarse durante la manipulación y el almacenamiento, d) no debe reaccionar adversamente con la fruta y no debe afectar la calidad de la fruta. No obstante, los almidones se ha observado que los almidones presentan diferencias en cuanto a su forma, tamaño de gránulos, contenido y proporciones de amilosa-amilopectina, longitudes de cadena ramificada y propiedades físicas y químicas, lo cual puede inferir en sus propiedades como formador de recubrimiento comestible (Sánchez-Ortega *et al.*, 2016). En la tabla 2, se listan algunos recubrimientos comestibles elaborados de distintas fuentes de almidón que han sido investigados por sus propiedades formadoras de biopelículas.

La formación de una película de almidón comienza con el calentamiento de los gránulos de almidón en agua para preparar una solución viscosa (la cual tiende a gelificarse inmediatamente después del enfriamiento debido a la asociación de cadenas del polímero), los recubrimientos de almidón, generalmente se elaboran mediante la dispersión de una solución de almidón en una superficie lisa y seca (Shujun *et al.*, 2015).

Tabla 2. Recubrimientos comestibles elaborados de distintas fuentes de almidón.

Tipo de almidón	Co-biopolímero	Plastificante	Concentración	T° de calentamiento	Propiedades de las biopelículas	Referencias
Almidón de babasú (<i>Attalea speciosa</i> M.).	***	Glicerol, sorbitol y glucosa.	Almidón (4 % p/p), plastificante (19 % de materia seca).	81 °C/30 min.	Espesor mínimo, alta resistencia a la tracción.	Maniglia <i>et al.</i> (2018).
Almidón de arrurruz (<i>Maranta arundinacea</i> L.)	Pulpa de mora	Glicerol	Almidón 4 % (p/p), glicerol 17 % (p/p) de materia seca.	85 ± 2 °C/5 min	Películas con buena apariencia y flexibilidad. Las películas fueron más fuertes mecánicamente.	Nogueira <i>et al.</i> (2019).
Almidón de amaranto (<i>Amaranthus</i> spp)	***	Glicerol	Almidón: glicerol (10:2.5 %).	80 °C/20 min.	Películas con poco grosor y permeabilidad al vapor de agua	Chandla <i>et al.</i> (2017).
Almidón de guisante (<i>Pisum sativum</i> L.)	Goma guar	Glicerol	Almidón: goma guar: glicerol (2.5 %:0.3 %:0.7 %).	90 °C/20 min.	Mínima permeabilidad al vapor de agua y fuertes propiedades mecánicas	Saberi <i>et al.</i> (2016).
Almidón de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.)	Aloe vera y quitosano	Sorbitol	Almidón: quitosano: sorbitol: aloe vera gel (3 %:2 %:1 %:10-50 %).	80 °C/45 min	Las propiedades de la película se vieron afectadas por el gel de aloe vera.	Pinzon <i>et al.</i> (2017).
Almidón de trigo (<i>Triticum</i> spp)	Quitosano	Glicerol	Almidón 4 %, glicerol 2 %.	0 °C/30 min.	Extensión de la vida útil	Aghazadeh <i>et al.</i> (2018).
Almidón de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	Carragenano	Glicerol y ácido esteárico	Almidón 2 %, carragenano 2 %, ácido esteárico 0.3 % glicerol 1 %.	85 °C /15 min.	Películas con propiedades mecánicas mejoradas.	Thakur <i>et al.</i> (2018).

Fuente: Adaptado de Thakur *et al.* (2019).

1.4 DISCUSIÓN

De acuerdo a los antecedentes descritos se sabe que los recubrimientos prolongan la vida de anaquel de frutos y hortalizas. A continuación, se resumen estudios aplicados en productos frescos en los cuales se utilizaron recubrimientos a base de polisacáridos con el objetivo de dar a conocer los efectos que tienen estos sobre el almacenamiento de productos perecederos. Nawab *et al.* (2017), utilizaron un recubrimiento elaborado a base almidón de mango y lo aplicaron en tomates y reportaron un retraso en su maduración por 20 días sin presentar

efectos adversos en su calidad. Genevois *et al.* (2016), reportaron que el recubrimiento a base de almidón de tapioca y Fe^3 disminuyen el proceso de transpiración de la calabaza hasta un 22.4 %, lo que contribuye a prolongar la vida de anaquel de este fruto. Castro García *et al.* (2017), aplicaron recubrimientos comestibles a base de quitosano y almidón de yuca en concentraciones (de 0.5 % y 1.5 % más aceite esencial de canela 0.05 %) en frutos de pera (*Pyrus communis* L.) y obtuvieron 10 días más de vida útil en comparación con los frutos control, por su parte, Dussan-Sarria *et al.* (2014), aplicaron almidón de yuca y en frutos de mangos ‘Atkins’ cuya vida de anaquel fue por un periodo máximo por 24 días a condiciones de refrigeración de 5 °C y 90 % de HR. Bolaños *et al.* (2014), utilizaron almidón de yuca modificado en concentraciones al 4% con 500, 1000 y 2000 ppm de aceite esencial de tomillo aplicado en pimiento (*Capsicum annum* L.) y obtuvieron mayor eficacia en cuanto al retraso de la maduración en las variables de pérdida de peso, tasa de respiración, firmeza y color de la cáscara al ejercer un efecto de barrera en combinación con el almidón de yuca modificado que aportó buenas propiedades contra la migración de vapor de agua. Una investigación realizada por Achipiz *et al.* (2013) reportaron la aplicación de recubrimiento a base de almidón de papa (4 %) en frutos de guayaba, donde se encontraron efectos favorables en cuanto a la pérdida de peso y firmeza, lo que incrementó la vida útil de la fruta hasta por diez días. De acuerdo a lo reportado, se infiere que los recubrimientos comestibles aplicados en frutos se ven influenciados en la madurez de los frutos durante su almacenamiento y contribuyen en el retardo de la senescencia de los mismos. Es importante mencionar que, aunque existe información reciente en cuanto al estudio sobre la poscosecha de frutos perecederos, es necesario realizar más investigaciones con el fin de definir un sistema poscosecha aplicado a frutos cuya vida de anaquel es muy limitada.

En la tabla número 3, se resumen algunas investigaciones en las cuales se aplicaron recubrimientos comestibles en productos frescos y se describe el tipo de recubrimiento utilizado y los aspectos relevantes en la aplicación sobre el alimento.

Tabla 3. Recubrimientos a base de polisacáridos aplicados en frutos.

Recubrimientos	Productos	Funciones significativas	Referencias
Recubrimientos de almidón k-carragenano o tapioca	Calabaza (<i>Curcumis moschata</i> , Duchesne)	Color y actividades antimicrobianas	Genevois <i>et al.</i> (2016).
Recubrimiento a base de alginato y quitosano	Mango "Tommy Atkins" (<i>Mangifera indica</i> L.)	Mejora de la calidad microbiológica y fisicoquímica	Souza <i>et al.</i> (2015).
Recubrimiento a base de hidroxipropil metilcelulosa-parafina	Melón (<i>Cucumis melo</i> L.)	Reducción de daños por frío, menor pérdida de peso	Meza-Velázquez <i>et al.</i> (2013).
Recubrimiento a base de quitosano	Guanábana (<i>Annona muricata</i> L.)	Disminución de pérdida de peso y retraso en la concentración de SST y acidez titulable.	Minh <i>et al.</i> (2019).
Recubrimiento a base de quitosano	Guanábana (<i>Annona muricata</i> L.)	Disminución de pérdida de peso y retraso en la concentración de SST y acidez titulable.	Minh <i>et al.</i> (2019).

Fuente: elaborado por los autores.

1.5 CONCLUSIONES

El comportamiento fisiológico y las características poscosecha de los frutos tratados con recubrimiento durante su almacenamiento puede variar y dependerá del tipo de material utilizado en la elaboración del recubrimiento, así como de las condiciones de almacenamiento y su manejo. Los diferentes estudios realizados han mostrado que los recubrimientos comestibles tienen un gran potencial en la conservación de productos frescos, ya que algunos autores reportan resultados favorables en cuanto al uso de estas tecnologías, sin embargo, es necesario realizar más investigación con respecto a la aplicación de recubrimientos comestibles para estandarizar su uso en cuanto a formulación, concentración y condiciones de almacenamiento utilizadas en el manejo poscosecha de los productos hortofrutícolas.

1.6 LITERATURA CITADA

- Achipiz, S. M., Castillo, A. E., Mosquera, S. A., Hoyos, J. L., y Navia, D. P. 2013.** Efecto de recubrimiento a base de almidón sobre la maduración de la guayaba (*Psidium guajava*). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 11(especial): 92-100.
- Aghazadeh, M., Karim, R., Sultan, M. T., Paykary, M., Johnson, S. K., y Shekarforoush, E. 2018.** Comparison of starch films and effect of different rice starch-based coating formulations on physical properties of walnut during storage time at accelerated temperature. Journal of Food Process Engineering, 41(1): e12607.
- Aider, M. (2010).** Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. LWT - Food Science and Technology, 43(6): 837-842.
- Avella, M., De-Vlieger, J. J., Errico, M. E., Fischer, S., Vacca, P., y Grazia, V. M. 2005.** Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. Food Chemistry, 93(3): 467-474.
- Ávila Sosa, R., Palou, E., Munguía, M. T., Nevárez Moorillón, G. V., Cruz, A. R., y López-Malo, A. 2012.** Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. International Journal of Food Microbiology, 153(1-2): 66-72.
- Banks, N. H. (2014).** Postharvest Systems-New Contexts, New Imperatives. En Florkowski, W. J. (Ed.), Postharvest Handling a Systems Approach (pp. 1-8). San Diego, USA: Academic Press.
- Bertuzzi M. A., Castro Vidaurre E. F., Armada M., y Gottifredi J. C. 2007.** Water vapor permeability of edible starch-based films. Journal of food engineering, 80(3): 972-978.
- Bolaños, O., Yamile, D., Zuñiga Camacho, D., Concha, H., Luis, J., Sánchez, M., Andrés, S., Sánchez, M., y Patricia, L. 2014.** Efecto de recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillo aplicado al pimiento (*Capsicum annuum*). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(5): 795-805.
- Cagri, A., Ustunol, Z., y Ryser, E. T. 2004.** Antimicrobial edible films and coatings. Journal of Food Protection, 67(4): 833-848.
- Cárdenas-Coronel, W., Velez-de la Rocha, R., Siller-Cepeda, J., Osuna-Enciso, T., Muy-Rangel, M., y Sañudo-Barajas, J. 2012.** Cambios en la composición de almidón,

pectinas y hemicelulosas durante la maduración de mango (*Mangifera indica* cv. KENT). Revista chapingo serie horticultura, 18(1): 5-19.

Carmona Gallego, J. A., Cordobés, F., Guerrero Conejo, A. F., Martínez, I., y Partal López, P. 2007. Influencia del pH y de la fuerza iónica sobre la gelificación térmica de proteínas de la yema de huevo. Grasas y Aceites. 58(3): 289-296.

Castro-García, M., García, M. R. C., Posligua, V. G. E., Mantuano, M. H. L., Basurto, R. M., Montes, Y. M. G., y Delgado, E. G. L. (2017). Recubrimiento comestible de quitosano, almidón de yuca y aceite esencial de canela para conservar pera (*Pyrus communis* L. cv. "Bosc"). La Técnica, 2(Edición Especial 2017): 42-53.

Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J.A., y Vázquez, M. 2017. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. Food Hydrocolloids, 68: 136-148.

Chandla, N. K. Saxena, D. C., y Singh, S. 2017. Amaranth (*Amaranthus* spp.) starch isolation, characterization, and utilization in development of clear edible films. Journal of Food Processing and Preservation, 41(6): 1-11.

Chávez-Salazar, A., Bello-Pérez, L. A., Agama-Acevedo, E., Castellanos-Galeano, F. J., Álvarez-Barreto, C. I., y Pacheco-Vargas, G. 2017. Isolation and partial characterization of starch from banana cultivars grown in Colombia. International Journal of Biological Macromolecules, 98: 240-246.

Chinma, C. E., Ariahu, C. C., y Alakali, J. S. 2015. Effect of temperature and relative humidity on the water vapour permeability and mechanical properties of cassava starch and soy protein concentrate based edible films. Journal of Food Science and Technology, 52(4): 2380-2386.

De la Vega, J. C., Cañarejo, M. A., y Pinto, N. 2017. Avances en Tecnología de Atmósferas Controladas y sus Aplicaciones en la Industria. Una Revisión. Información Tecnológica, 28(3): 75-86.

Dhall, R. K. 2013. Advances In edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 53(5): 435-450.

Díaz, A., Dini, C., Viña, S. Z., y García, M. A. 2018. Technological properties of sour cassava starches: Effect of fermentation and drying processes. LWT - Food Science and Technology, 93: 116-123.

- Dussan Sarria, S., Torres-León, C., y Reyes-Calvache, P. 2014.** Efecto del recubrimiento comestible sobre los atributos físico-químicos de mango 'Tommy Atkins' mínimamente procesado y refrigerado. *Acta Agronómica*, 63(3): 212-221.
- Escobar, D., Sala, A., Silvera, C., Harispe, R., y Márquez, R. 2009.** Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Revista del Laboratorio tecnológico del Uruguay*, 4: 33-36.
- Espinosa, Y., Ortiz R., Tovar B., Mata, M., y Montalvo E. 2013.** Physiological and physicochemical behavior of soursop fruits refrigerated with 1-methylcyclopropene. *Journal of Food Quality*, 36(1): 10-20.
- FAO. 2018.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/es/>. [Última consulta: 30 de mayo de 2019].
- Félix, M., Pérez-Puyana, V., Romero, A., y Guerrero, A. 2017.** Development of protein-based bioplastics modified with different additives. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(42): 45430.
- García, M. A., Ventosa, M., Díaz, R., y Casariego, A. 2011.** Efecto de coberturas de alginato de sodio enriquecidas con Aloe vera en la calidad de zanahoria mínimamente procesada. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 21(3): 62-67.
- Genevois, C. E., De Escalada, M. F., y Flores, S. K. 2016.** Application of edible coatings to improve global quality of fortified pumpkin. *Innovative Food Science y Emerging Technologies*, 33: 506-514.
- Hassan, B., Chatha, S.A.S., Hussain, A. I., Zia, K. M., y Akhtar, N. 2018.** Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109: 1095-1107.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., y Betancur-Ancona, D. 2008.** Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3): 718-726.
- Jaworek, A., y Sobczyk, A. 2008.** Electrospraying route to nanotechnology: an overview. *Journal of electrostatics*, 66(3-4): 197-219.

- López, Á., Rivas, J., Loaiza, M., y Sabino, M. 2010.** Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de camarón (*L. vannamei*). Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 25(2): 133-143.
- Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, R., Arévalo-Galarza, M. L., Calderón-Zavala, G., y Anaya-Rosales, S. 2015.** Physical and chemical characteristics of cactus stems (*Opuntia ficus-indica*) for exportation and domestic markets. Agrociencia, 49(1): 31-51.
- Maniglia, B. C., Tessaro, L., Ramos, A. P. y Tapia-Blácido, D. R. 2019.** Which plasticizer is suitable for films based on babassu starch isolated by different methods? Food Hydrocolloids, 89(2019): 143-152.
- Mantilla, N., Castell Perez, M. E., Gomes, C., y Moreira, R. G. 2013.** Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). LWT - Food Science and Technology, 51(1): 37-43.
- Meza Velázquez, J. A., Guzmán, G. A., García Díaz, C. L., Fortis, H. M., Preciado Rangel, P., y Esparza Rivera, J. R. 2013.** Effect of a film of hidroxypopyl methylcellulose-paraffin in Cantaloupe melon (*Cucumis melo*) stored in cold. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4(2): 259-271.
- Minh, N. P., Vo, T. S., Tram, D. N., Nga, N. H., Bang, N. T., Thi, M., y Trinh, D. 2019.** Application of Chitosan Edible Coating for Soursop (*Annona muricata* L) Storage. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 11(2): 284-288.
- Nawab, A., Alam, F., Haq, MA., y Hasnain, A. 2016.** Película biodegradable de almidón de grano de mango: efecto de los plastificantes sobre las propiedades físicas, de barrera y mecánicas. Starch-Stärke, 68: 1-10.
- Nawab, A., Alam, F., y Hasnain, A. 2017.** Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. International Journal of Biological Macromolecules, 103: 581-586.
- Nogueira, G. F., Soares, C. T., Cavasini, R., Fakhouri, F. M., y De Oliveira, R. A. 2019.** Bioactive films of arrowroot starch and blackberry pulp: Physical, mechanical and barrier properties and stability to pH and sterilization. Food Chemistry, 275: 417-425.

Pinzon, M. I., Garcia, O.R., y Villa, C. C. 2018. The influence of Aloe vera gel incorporation on the physicochemical and mechanical properties of banana starch-chitosan edible films. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11): 4042-4049.

Rafieian, F., Shahedi, M., Keramat, J., y Simonsen, J. 2014. Thermomechanical and morphological properties of nanocomposite films from wheat gluten matrix and cellulose nanofibrils. *Journal of Food Science*, 79(1): 100-107.

Ramírez, J., Aristizabal, I., y Restrepo, J. 2013. Conservación de mora de castilla mediante la aplicación de un recubrimiento comestible de gel de mucílago de penca de sábila. *Vitae*, 20(3): 172-183.

Raspo, M., Gómez, C., y Andreatta, A. 2018. Optimization of antioxidant, mechanical and chemical physical properties of chitosan-sorbitol-gallic acid films by response surface methodology. *Polymer Testing*, 70: 180-187.

Saberi, B., Thakur, R., Bhuyan, D. J., Vuong Q. V., Chockchaisawasdee, S. Golding, J.B. Scarlett, C. J. y Stathopoulos, C. E. 2016. Development of edible blend films with good mechanical and barrier properties from pea starch and guar gum. *Starch-Stärke*, 69(1-2): 1600227.

Sánchez Ortega, I., García Almendárez, B.E., Santos López, E. M., Reyes González, L. R., y Regalado, C. 2016. Characterization and antimicrobial effect of starch-based edible coating suspensions. *Food Hydrocolloids*, 52: 906-913.

Sharma, S., y Rao, T. (2015). Xanthan gum based edible coating enriched with cinnamic acid prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut pears. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1-2): 791-800.

Shujun, W., Caili, L., Les, C. Qing, N., y Shuo, W. 2015. Starch retrogradation: A comprehensive reviews. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5): 568-585.

Slavutsky, M. A., y Bertuzzi A. M. 2015. Formulation and characterization of nanolaminated starch-based film. *LWT-Food Science and Technology*, 61(2): 407-413.

Solano Doblado, L. G., Alamilla Beltrán, L., y Jiménez Martínez, C. 2018. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21(Supl. 2): 30-42.

- Souza, M. P., Vaz, A. F., Cerqueira, M. A., Texeira, J. A., Vicente, A. A., y Carneiro-da-Cunha, M. G. 2015.** Effect of an edible nanomultilayer coating by electrostatic self-assembly on the shelf life of fresh-cut mangoes. *Food and Bioprocess Technology*, 8: 647-654.
- Thakur, B., Saberi, P., Pristijono, J., Golding, C., Stathopoulos, C., Scarlett, Bowyer M., y Vuong. Q. 2016.** Characterization of rice starch- κ -carrageenan biodegradable edible film. Effect of stearic acid on the film properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 93(Pt A): 952-960.
- Thakur, R., Pristijono, P. Golding, J. B. Stathopoulos, C. E. Scarlett, C., Bowyer, M. Singh, S. P., y Vuong, Q.V. 2018.** Effect of starch physiology, gelatinization, and retrogradation on the attributes of rice starch- κ -carrageenan film. *Starch-Stärke*, 70(1-2): 1700099.
- Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., y Vuong, Q. V. 2019.** Starch-based films: Major factors affecting their properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132: 1079-1089.
- Valencia Chamorro, S.A., Palou, L., Del Río, M., y Pérez, M.B. 2011.** Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(9): 872-900.
- Vázquez-Briones, MC., y Guerrero Beltrán, J. 2013.** Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2): 5-14.
- Wani, A. A., Singh, P., Shah, M. A., Schweiggert-Weisz, U., Gul, K., y Wani, I. A. 2012.** Rice starch diversity: effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties-a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(5): 417-436.
- Yousuf, B., y Srivastava, A. K. 2015.** Psyllium (*Plantago*) gum as an effective edible coating to improve quality and shelf life of fresh-cut papaya (*Carica papaya*). *Revista Internacional de Ingeniería Biológica, Biomolecular, Agrícola, Alimentaria y Biotecnológica*, 9(7): 702-707.
- Zhao, Y. 2018.** Edible coatings for extending shelf-life of fresh produce during postharvest storage. In: *Reference Module in Food Science*; Oregon State University, Corvallis. 1-5 pp United States.

Zhu, F. 2014. Structure, physicochemical properties, and uses of millet starch. *Food Research International*, 64: 200-211.

Zhu, F. 2018. Modifications of starch by electric field-based techniques. *Trends in Food Science y Technology*, 75: 158-169.

Zhu, F., y Wang, S. (2014). Physicochemical properties, molecular structure, and uses of sweetpotato starch. *Trends in Food Science and Technology*, 36(2): 68-78.

Capítulo II.

APLICACIÓN DE ALMIDÓN COMO RECUBRIMIENTO COMESTIBLE EN FRUTOS DE GUANÁBANA DURANTE SU ALMACENAMIENTO POSCOSECHA: CAMBIOS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOQUÍMICOS

APPLICATION OF STARCH AS AN EDIBLE COATING IN SOURSOP FRUITS DURING POST-HARVEST STORAGE: BIOCHEMICAL CHANGES

Miguel Angel De los Santos-Santos,¹ José Orlando Jiménez-Zurita,^{2*} Rosendo Balois-Morales,² Irán Alia-Tejaca,³ Graciela Guadalupe López-Guzman,² Yolotzin Apatzingan Palomino-Hermosillo.²

¹Programa de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias, Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela, km. 9. C.P. 63780, Xalisco, Nayarit. México.

²Unidad de Tecnología de Alimentos-Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura S/N Col. Centro, Tepic Nayarit. México. ³Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad Núm. 1001, Col. Chamilpa. C.P. 62209, Cuernavaca Morelos, México.

*Autor para correspondencia (zurit_8@hotmail.com)

2.1 RESUMEN

El fruto de guanábana (*Annona muricata* L.) es climatérico y altamente perecedero, presenta una alta tasa de respiración que ocasiona un acelerado ablandamiento en los frutos después de la cosecha con una corta vida de anaquel provocando varios problemas en su manejo poscosecha y en consecuencia su almacenamiento y comercialización se ven limitados. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios en la actividad antioxidante por los métodos DPPH, ABTS y FRAP, así como el contenido de fenoles, flavonoides y vitamina C durante la maduración de frutos de guanábana sin y con recubrimiento a base de almidón, almacenados a 22 y 15 °C con una humedad relativa del 90 %. Los frutos recubiertos presentaron menor pérdida de peso (6.11 y 10.26 %) y mayor firmeza (39 y 19 N). La acidez titulable aumentó durante la maduración, observándose un porcentaje mayor en los frutos recubiertos y almacenados a 22 °C (0.94 y 0.8 %). El pH fue menor en frutos almacenados a

22 °C (3.9). La concentración de SST fue menor en frutos recubiertos y almacenados a 15 °C (11.29). El color disminuyó durante el almacenamiento de los frutos. Los frutos almacenados a 15 °C con recubrimiento presentaron la mayor actividad antioxidante (DPPH y FRAP) (285 y 15.92 mg EAA/100 g.p.f.) respectivamente. Los frutos almacenados a 15 °C mostraron la menor actividad antioxidante (ABTS) (46.5 y 52.4 mg EAA/100 g.p.f.). La menor concentración de compuestos fenólicos se observó en los frutos almacenados a 15 °C (90.6 y 93.98 mg EAG/100 g.p.f.). La concentración de vitamina C y flavonoides fue mayor en los frutos con recubrimiento almacenados a 15 °C (31.79 y 95.93 mg EQ/100 g.p.f.). Los resultados sugieren que el uso de recubrimientos comestibles a base de almidón durante el almacenamiento poscosecha a 15 °C de los frutos de guanábana incrementa la vida de anaquel (12 días) y mantiene las propiedades bioquímicas sin causar alteraciones en el proceso de maduración.

Palabras clave: *Annona muricata* L., refrigeración, actividad antioxidante, compuestos fenólicos, flavonoides, vitamina C.

Summary

Soursop fruit (*Annona muricata* L.) is climacteric and highly perishable, it has a high rate of respiration that causes an accelerated softening of the fruits after harvest with a short shelf life causing several problems in their postharvest handling and consequently their storage and commercialization are limited. The objective of this work was to evaluate the changes in antioxidant activity by the DPPH, ABTS and FRAP methods, as well as the content of phenols, flavonoids and vitamin C during the maturation of soursop fruits (*Annona muricata* L.) without and with coating based on starch, stored at 22 and 15 °C for four days with a relative humidity of 90%. Fruits stored at 15 °C with coating had the highest antioxidant activity (DPPH and FRAP) (285 and 15.92 mg EAA / 100 g.p.f.) respectively. Fruits stored at 15 °C showed the lowest antioxidant activity (ABTS) (46.5 and 52.4 mg EAA / 100 g.p.f.). The lowest concentration of phenolic compounds was observed in fruits stored at 15 °C (90.6 and 93.98 mg EAG / 100 g.p.f.). The concentration of vitamin C and flavonoids was higher in coated fruits stored at 15 °C (31.79 and 95.93 mg EQ / 100 g.p.f.). The results suggest that the use of edible coatings based on starch during the post-harvest storage at 15 °C of the

soursop fruits increases the shelf life (12 days) and maintains the biochemical properties without causing alterations in the maturation process.

Keywords: *Annona muricata* L., refrigeration, antioxidant activity, phenolic compounds, flavonoids, vitamin C.

2.2 INTRODUCCIÓN

La guanábana (*Annona muricata* L.), en México, se cultiva principalmente en los estados de Michoacán, Colima y Nayarit, siendo este último el mayor productor con 21,810. 86 ton (SIAP, 2019). Los frutos de guanábana se consumen en fresco, el 85 % de lo aprovechable del fruto es la pulpa, ésta es de agradable sabor y se utiliza en la preparación de postres y bebidas, además de aportar sustancias bioactivas como vitamina C, flavonoides, antocianinas, carotenoides, β -caroteno, α -caroteno, y β -criptoxantina, así como otros metabolitos secundarios (zeaxantina y luteína). También contribuyen con un gran número de compuestos de carácter fenólico a los cuales se les atribuye actividad antioxidante y propiedades funcionales y nutraceuticas (Correa-Gordillo *et al.*, 2012). El fruto se clasifica como climatérico, por su alta velocidad de respiración y liberación de etileno, por lo que presenta problemas para su almacenamiento y vida de anaquel (Pareek *et al.*, 2011). En el estado de Nayarit no se cuenta con un sistema poscosecha desarrollado adecuadamente lo que conlleva a varios problemas en su manejo (Jiménez-Zurita *et al.*, 2016) y causan a los agricultores pérdidas de hasta 60 % del valor de la cosecha antes de que lleguen al consumidor (Tovar-Gómez *et al.*, 2011). Por lo tanto, existe un interés para investigar tecnologías poscosecha que puedan alargar la vida de anaquel y que mantengan la calidad nutricional de la guanábana (Moreno-Hernández *et al.*, 2014). Dentro de las tecnologías poscosecha para mantener la calidad de los productos hortofrutícolas se encuentra el uso de recubrimientos comestibles (Park *et al.*, 2014). Un recubrimiento comestible (RC) se define como una matriz continua y delgada, esta matriz se estructura alrededor de un alimento y puede proporcionar una cubierta protectora adicional (Quintero *et al.*, 2010). Los RC se consideran como alternativas para el manejo poscosecha de los productos hortofrutícolas, debido a que prolongan su vida de anaquel, disminuyendo así la pérdida de peso, firmeza y maduración, por lo que son de interés en la industria alimentaria (Vázquez-Briones, 2013).

Uno de los polisacáridos que se han utilizado para la elaboración de recubrimientos comestibles y biodegradables es el almidón, debido a su baja permeabilidad al oxígeno, alta permeabilidad al vapor de agua y a la capacidad de formar un recubrimiento insípido, inodoro y transparente, así como su precio relativamente bajo y su disponibilidad alta en la naturaleza (Dussán-Sarria *et al.*, 2014). En el contexto anterior, el fruto de guanábana por ser climatérico presenta una vida de anaquel muy corta, por lo que en la presente investigación se evaluó el efecto sobre los cambios fisicoquímicos, en los compuestos bioactivos (vitamina C, fenoles y flavonoides) y su actividad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP) en frutos de guanábana tratados con recubrimiento comestible a base de almidón (2 %) almacenados en refrigeración.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de guanábana fueron cosechados en madurez fisiológica a los 160 días después de la antesis, estado de madurez adecuado para la cosecha cuando el fruto adquiere un color verde claro o amarillento (Balois-Morales *et al.*, 2019). La cosecha se realizó en una huerta comercial ubicada en el ejido Venustiano Carranza del municipio de Tepic, Nayarit (21° 32' 2.77" N, 104° 58' 37.73" O, 893 msnm) (Jiménez-Zurita *et al.*, 2016) entre las 7 y 8 a.m. horario pacífico, los frutos se colocaron en cajas de plástico y se transportaron al laboratorio de análisis especiales de la Unidad de Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nayarit. En el laboratorio, se realizó una selección de frutos que presentaron una masa entre 800 y 1000 g, descartando frutos con daños físicos, mecánicos o microbiológicos (visual), posteriormente se lavaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % para evitar proliferación de microorganismos.

Aplicación del recubrimiento. Para la elaboración del recubrimiento se preparó una solución al 2 % de almidón de guanábana en agua (p/v), llevando a una temperatura de 50 °C \pm 2 durante 30 minutos, en agitación constante. El recubrimiento de almidón se aplicó por inmersión durante un minuto en los frutos, posteriormente estos se dejaron secar durante cinco minutos a temperatura ambiente. Los frutos se almacenaron en una cámara de climatización (Climacell®).

Organización experimental. Los frutos se agruparon en cuatro lotes (30 frutos por lote) de los cuales se formaron los tratamientos (T): T1 y T2 (frutos sin y con recubrimiento almacenados a 22 °C; 90 % HR), T3 y T4 (frutos sin y con recubrimiento almacenados durante cuatro días a 15 °C; 90 % HR y posteriormente transferidos a 22 °C por ocho días). Los tratamientos se establecieron bajo un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 2x2. La unidad experimental fue un fruto con cuatro repeticiones. Las evaluaciones se realizaron a los 0, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 días de almacenamiento.

Variables evaluadas

Análisis fisicoquímico

La pérdida de peso se determinó por gravimetría utilizando balanza digital (Ohaus Scout Pro). La tasa de pérdida de peso se reportó en porcentaje (%) de pérdida de peso. La firmeza se determinó en los frutos con cáscara, midiendo la fuerza requerida para penetrar una punta de 8 mm de diámetro en dirección perpendicular a la superficie del fruto, los valores se expresaron en newton (N). El pH se midió directamente en la pulpa del fruto utilizando un potenciómetro. La concentración de sólidos solubles totales (SST) se determinó colocando una gota de jugo en un refractómetro digital (HANNA HI 96801). La acidez titulable se determinó a partir de un gramo de pulpa homogenizada en 10 mL de agua destilada, centrifugando a 9,000 rpm durante 25 minutos a 4 °C. Posteriormente se determinó por el método oficial (AOAC, 2005), mediante la titulación volumétrica con hidróxido de sodio (NaOH 0.01 N) y fenolftaleína como indicador. El color fue evaluado utilizando un colorímetro (KONICA MINOLTA) previamente calibrado y se midió en la epidermis del fruto en sus zonas ecuatoriales. La lectura se relacionó con los parámetros (CIELAB) L*, a*, b*, donde L* que es la luminosidad reflejada por el fruto (negro a blanco), a* indica el valor de verde (-) a rojo (+) y b* el valor de azul (-) a amarillo (+). Estos valores se transformaron a cromaticidad (C*) y ángulo de tono (h°).

Compuestos fenólicos totales. Se determinaron de acuerdo con el método de Stintzing *et al.* (2005). Para ello se homogeneizaron 1 g de pulpa con agua destilada con ayuda de un Ultraturrax (IKA®), posteriormente el homogeneizado se centrifugó (Hermle Z326K) a 18510 g y se tomaron 0.5 mL del sobrenadante, adicionando 2.5 mL del reactivo Folin-

Ciocalteu, diluidos con agua destilada (1:10 v/v), se dejaron reposar por 5 min, y se le adicionaron 2 mL de carbonato de sodio 7.5% (p/v) y se incubaron a temperatura ambiente durante 30 minutos. Al término del tiempo se midió la absorbancia en un lector de microplacas (Power Wave XS, Biotek) a una longitud de onda de 765 nm. Los resultados obtenidos se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (mg EAG/100 g.p.f.).

Actividad antioxidante. Para la determinación de la actividad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP) se homogeneizó un 1 g de pulpa fresca de guanábana en un Ultraturrax T25 IKA® con 10 mL de agua destilada y posteriormente se centrifugó a 18510 g a una temperatura de 4°C durante 30 minutos (Hermle Z326K), recuperando la fase acuosa.

DPPH. Se determinó de acuerdo con la metodología reportada por Morales y Jiménez (2001), la cual consiste en preparar una solución de DPPH (7.4 mg/100 mL en etanol al 80 %), se agitó durante 60 minutos, posteriormente se diluyó con metanol al 80 % hasta obtener un valor de absorbancia de entre 0.70 (± 0.02) a 520 nm. Se tomaron 50 μ L de la muestra y se colocaron en tubos eppendorf (1.5 mL), agregando 250 μ L de la solución de DPPH, ésta se dejó reposar en condiciones de obscuridad por un tiempo de 30 minutos, posterior se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 520 nm (Power Wave XS, Biotek). La actividad antioxidante se expresó en mg equivalente de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.p.f.).

ABTS. Se cuantificó de acuerdo con la metodología descrita por Re *et al.* (1999), esta consiste en preparar dos soluciones (una de ABTS 7 mM y otra de persulfato potásico 2.45 mM) con agua destilada. Posteriormente se hizo una mezcla de ambas soluciones (v/v) relación 1:1, esta mezcla se incubó por 16 horas en condiciones de oscuridad, temperatura de 23 ± 1 °C, en agitación constante. Una vez formado el radical ABTS se diluyó con etanol (20 %) hasta obtener un valor de absorbancia comprendido entre 0.70 (± 0.02) a 754 nm. Para la determinación del ensayo se tomaron 10 μ L de muestra y se le adicionaron 490 μ L de ABTS y se dejó reaccionar durante siete minutos, posteriormente se leyó la absorbancia a 734 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.p.f.).

FRAP. Se determinó por el método de Benzie y Strain (1996), el cual evalúa la habilidad de los compuestos para reducir el hierro (III) a hierro (II). En un tubo eppendorf se agregaron 25 μL de muestra, 63 μL de buffer de fosfatos (PBS) a una concentración de 0.2 M, pH 6.6 y 63 μL de hexacianoferrato de potasio ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) al 1%, agitando con un vórtex, esta solución se incubó durante 30 minutos a 50 °C, posteriormente se agregaron 63 μL de ácido tricloroacético al 10 %, se agitó en un vórtex por un minuto y después se tomó una alícuota de 126 μL del sobrenadante y se colocó en tubo eppendorf y se le agregaron 126 μL de agua destilada y 25 μL de cloruro férrico (FeCl_3) al 0.1 %, se agitó y se leyó la absorbancia a 700 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.p.f).

Vitamina C. Se evaluó por el método de Dürüst *et al.* (1997), el cual consiste en preparar las siguientes soluciones: DCPI (2,6 diclorofenolindofenol sal disódica) a 24 mg/L en agua desionizada; amortiguador de acetatos compuesto por tres gramos de acetato de sodio anhidro, 7 mL de agua desionizada y 10 mL de ácido acético glacial. El procedimiento consistió en colocar en viales 50 μL de muestra obtenida a partir de dos gramos de pulpa fresca homogeneizada con 10 mL de ácido tricloroacético (TCA), los cuales se colocaron en un baño de hielo durante 5 min y posteriormente, se centrifugó a 18510 g durante 10 min, posteriormente se adicionaron 50 μL de amortiguador de acetatos y 400 μL de DCPI. Se midió la absorbancia a 520 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS, Biotek). Los resultados se expresaron en mg equivalente de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.p.f.).

Flavonoides totales. Se determinó mediante el método de Zhishen *et al.* (1999), el cual consistió en colocar 50 μL en viales de muestra obtenida a partir de un gramo de pulpa fresca de guanábana homogenizado en un Ultraturrax T25 IKA® con 10 mL de metanol y posteriormente se centrifugó (Hermle Z326K) a 18510 g a una temperatura de 4 °C durante 30 minutos, recuperando la fase acuosa. Se colocaron 50 μL de muestra con 100 μL de agua desionizada. Posteriormente se adicionaron 10 μL de NaNO_2 (15 %) y se agitó en un vórtex, posteriormente se dejó en reposo durante seis minutos en obscuridad a una temperatura de 23 °C. Transcurrido el tiempo se agregaron 15 μL de AlCl_3 (10 %), y nuevamente se dejó reposar durante seis minutos en obscuridad a 23 °C. Finalmente, se agregaron 200 μL de

NaOH (4 %) y se agitó. Posteriormente se midió la absorbancia a 510 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de quercetina (mg EQ/100 g.p.f.).

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y de comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia $P \leq 0.05$ utilizando el software Statistical Analysis System (SAS® V. 9.2) (Castillo, 2011).

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1 Pérdida de peso

Los frutos de guanábana almacenados a 22 °C sin recubrimiento y con recubrimiento al 2 % tuvieron una pérdida de masa diaria de 2.79 y 1.25 %, respectivamente (Figura 1 A). La pérdida de masa acumulada en la madurez de consumo fue entre 10.38 y 6.11 %. El análisis estadístico encontró diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$), se observó una menor pérdida de peso durante la maduración en los frutos recubiertos con almidón al 2 %, esto podría deberse a que los recubrimientos comestibles reducen la migración de humedad, oxígeno y dióxido de carbono (Bonilla *et al.*, 2017). Los resultados encontrados en esta investigación están por arriba de lo reportado por Minh (2017), quien aplicó alginato (1.5 %) como recubrimiento comestible en frutos de guanábana y reportaron pérdida de peso de 2.7 % a los 30 días de almacenamiento a 4 °C. Ramos-Guerrero *et al.* (2019) aplicaron quitosano en frutos de guanábana almacenados a 20 °C y reportaron 13 % de pérdida de peso en el día 9 de almacenamiento. Una investigación reciente reportó 7 % de pérdida de peso en frutos de mango, observándose que el recubrimiento de alginato fue efectivo en la disminución de la pérdida de peso (Rastegar *et al.*, 2019).

Los frutos almacenados a 15 °C por 4 días sin recubrimiento y con recubrimiento al 2 % presentaron una pérdida de masa diaria de 1.85 y 1.62 % respectivamente (Figura 1 A). La pérdida masa acumulada al final del almacenamiento fue del 10.44 y 10.26 % respectivamente. De acuerdo al análisis estadístico, no se observaron diferencias significativas ($P \geq 0.05$), no obstante, los frutos con recubrimiento presentaron menor pérdida

de peso durante el almacenamiento (Figura 1 A). López-Velasco *et al.* (2018) reportaron pérdida de peso en frutos de guanábana almacenados a 16 (11 %) y 25 °C (24 %), observaron una menor pérdida de peso en los frutos almacenados en refrigeración tal y como se reporta en esta investigación y podría atribuirse al efecto de la reducción de los procesos fisiológicos que son afectados por la temperatura de almacenamiento. Por su parte, Zahedi *et al.*, (2019) también observaron que los recubrimientos a base de polisacáridos (quitosano 2 %) disminuyen la pérdida de peso (3 %) de frutos de mango a los 24 días de almacenamiento a 15 °C. Julio-Gabriel (2018) investigó el efecto del resveratrol en poscosecha de frutos de guanábana almacenados a 18 °C y reportó 12 % de pérdida de peso en el día 11 de almacenamiento.

2.4.2 Firmeza

La firmeza de los frutos almacenados a 22 °C sin y con recubrimiento disminuyó constantemente, al inicio de la cosecha presentaron valores promedio entre 63 y 83 N, 8 días después en madurez de consumo, la firmeza disminuyó a 46 y 39 N respectivamente es decir 72 y 62 % (Figura 1 B). Se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, donde los frutos tratados con recubrimiento presentaron la menor firmeza ($P \leq 0.05$). Sothornvit y Rodsamran (2008), mencionan que el ablandamiento de las frutas y hortalizas es causado por la degradación de los componentes de las paredes celulares provocando una mayor cantidad de agua libre y menor firmeza. Más tarde, Minh (2017) reportó que la pérdida de firmeza en frutos de guanábana podría estar relacionada con actividad enzimática de las protopectinasas que hidrolizan las protopectinas. Falguera *et al.* (2011) mencionan que los recubrimientos comestibles aplicados en frutos disminuyen la tasa de respiración y la producción de etileno, en consecuencia, el proceso de ablandamiento se ve retardado, sin embargo, en esta investigación no se observó un efecto positivo con la aplicación del recubrimiento. Márquez *et al.* (2012) observaron que el fruto de guanábana en etapa sobre madura alcanza valores promedio de 3.6 N, estos valores no se observaron en este estudio, indicando que los frutos no se encontraban en etapa sobre madura. Por su parte, Jiménez-Zurita *et al.* (2017) realizaron una investigación en frutos de guanábana almacenadas a 22 °C y reportaron 7.8 y 8.4 N a los 6 días de almacenamiento.

La firmeza de los frutos almacenados a 15 °C sin y con recubrimiento disminuyó de manera gradual de 46 a 9 N y 54 a 19 N respectivamente después de ser transferidos a 22 °C (Figura 1 B). El análisis estadístico no encontró diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre tratamientos, sin embargo, los frutos recubiertos presentaron mayor firmeza durante el almacenamiento. Velickova *et al.* (2013) mencionan que la refrigeración retrasa la degradación celular disminuyendo la actividad enzimática, no obstante, en este estudio la pérdida de firmeza en los frutos de guanábana pudo ser porque se inició de manera natural el ablandamiento atribuido a los procesos naturales de senescencia (Coêlho de Lima *et al.*, 2004). Los resultados obtenidos en esta investigación están por arriba de lo reportado por Espinosa *et al.* (2013), quienes observaron que el almacenamiento de frutos de guanábana a 16 °C reduce la tasa de firmeza perdida hasta el noveno día de almacenamiento bajo estas condiciones alcanzando valores de 5.1 N de firmeza.

2.4.3 pH

El pH de los frutos de guanábana almacenados a 22 °C disminuyó durante la maduración (Figura 1 C). Los frutos de guanábana sin y con recubrimiento al 2 % almacenados a 22 °C presentaron valores iniciales de pH = 6, posteriormente 8 días después de la cosecha el pH disminuyó hasta valores 3.9 para ambos tratamientos. El análisis estadístico encontró diferencias significativas en los tratamientos ($P \leq 0.05$), donde los frutos con recubrimiento presentaron valores de pH más altos. Los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran en el rango de pH 2.6 y 5.8, que es el indicador de madurez para la mayoría de los frutos tropicales (Ramírez *et al.*, 2012). Lima y Alves (2011), mencionan que los cambios relacionados con la acidez titulable modifican constantemente el pH del fruto. Los resultados obtenidos en esta investigación presentan una disminución en el pH hasta 3.9, indicando el inicio de la maduración (Aziz y Yusof, 1994; Lima *et al.*, 2003) y son similares a lo reportado por Arrazola-Paternina *et al.* (2013) quienes mencionaron que frutos de guanábana provenientes de Colombia presentan valores de pH 4 en madurez de consumo.

Los frutos sin recubrimiento y con recubrimiento al 2 % registraron valores en el pH de 4.28 al término del periodo de refrigeración, posteriormente este valor incrementó hasta 4.8 en ambos tratamientos (Figura 1 C). El análisis estadístico no encontró diferencias significativas

($P \geq 0.05$) entre tratamientos en la variable pH, no obstante, los frutos recubiertos presentaron pH más alto, respectivamente. El aumento del pH podría estar relacionado con la disminución de la acidez titulable, causado por la disminución de los ácidos orgánicos presentes, los cuales son utilizados como sustratos en el proceso de respiración al inicio de la senescencia (Coêlho de Lima *et al.*, 2004). Los resultados obtenidos en esta investigación están por debajo de lo observado por Minh *et al.* (2019), quienes aplicaron quitosano en frutos de guanábana almacenados a 4°C durante 30 días y reportaron pH de 5.75, indicando que los frutos de estudio en la presente investigación son más ácidos y concuerda con lo reportado por Jiménez-Zurita *et al.*, (2016).

2.4.4 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales fueron más altos en los frutos sin recubrimiento almacenados a 22 °C en la fase de madurez de consumo, donde mostraron 15.83 °Brix a los 8 días de almacenamiento, mientras que los frutos con recubrimiento al 2 % mostraron 14.41 °Brix (Figura 1 D). Se encontraron diferencias estadísticas en los tratamientos ($P \leq 0.05$), donde los frutos recubiertos mostraron mayor contenido de sólidos solubles totales durante el almacenamiento. Arrazola-Paternina *et al.* (2013) mencionan que a medida que avanza el proceso de maduración, aumenta el contenido de sólidos solubles totales en consecuencia de la degradación de los polímeros presentes. Los resultados obtenidos son similares a lo reportado en una investigación realizada en Venezuela, indicando 14.7 y 16.2 °Brix en frutos de guanábana en madurez fisiológica (Ojeda *et al.*, 2007), pero inferiores a lo reportado por Singh *et al.* (2014) quienes encontraron un porcentaje de 24.5 °Brix en frutos de guanábana provenientes de las Islas del Sur de Andaman. De acuerdo a Medina y Pagano (2003), las variaciones encontradas en la concentración de sólidos solubles totales de los frutos de guanábana podrían estar influenciada por los factores climáticos.

Los frutos con y sin recubrimiento al finalizar el almacenamiento a 15 °C presentaron 11 °Brix en promedio, posteriormente, los frutos de ambos tratamientos incrementaron el contenido de sólidos solubles totales a 12.29 y 11.29 °Brix (Figura 1 D). No se observaron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre tratamientos, no obstante, los frutos con recubrimiento presentaron mayor concentración de sólidos solubles totales durante el

almacenamiento. De Lima (2006), menciona que los cambios en relación a la concentración de sólidos solubles totales están relacionados con los procesos enzimáticos internos, así como de los reguladores de crecimiento y otros factores extrínsecos como la temperatura de almacenamiento y la humedad relativa. De acuerdo a lo observado en esta investigación, los resultados obtenidos son similares a lo que reportan Paull y Duarte (2011), donde mencionan que tres días después de cosecha, los frutos alcanzan valores entre 10 y 16 °Brix. Sin embargo, los resultados obtenidos están por arriba de lo reportado por Minh (2017), quien investigó el efecto de un recubrimiento a base de alginato (1.5 %) en frutos de guanábana y observaron que la concentración de sólidos solubles totales a los 30 días de almacenamiento fue de 7.39 °Brix. Pareek *et al.*, (2011) también reportaron concentración de sólidos solubles totales (10-16 °Brix) en frutos de *Annona cherimoya* M.

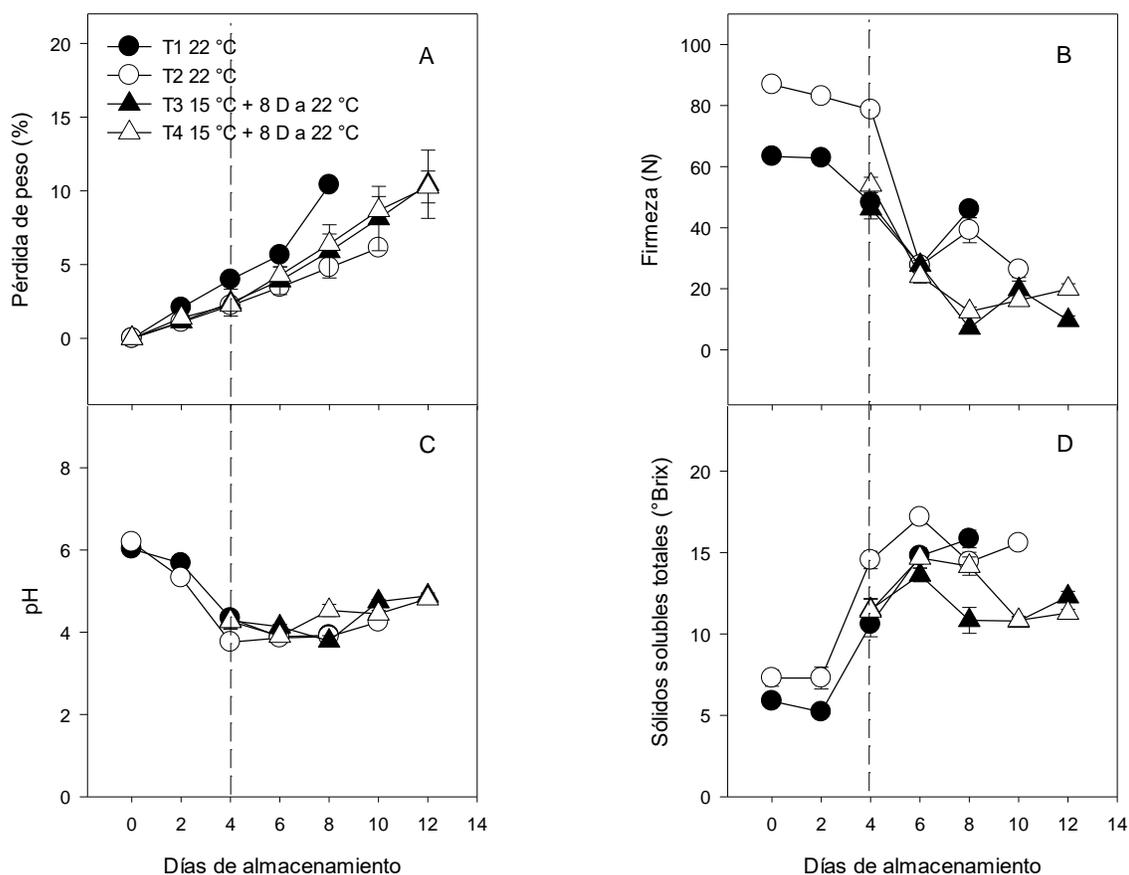


Figura 1. Comportamiento de pérdida de masa (A), firmeza (B), pH (C) y sólidos solubles totales (D) en frutos de guanábana almacenados a 22 °C y 15 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.

2.4.5 Acidez titulable

La acidez titulable de los frutos de guanábana almacenados a 22 °C se incrementó durante la maduración (Figura 2 D). Los frutos sin y con recubrimiento al 2 % presentaron valores iniciales entre 0.08 y 0.01 % respectivamente, posteriormente el porcentaje de acidez se incrementó al día 8 a la cosecha, registrando valores de 0.94 y 0.80 % en madurez de consumo respectivamente (Figura 2 D). El análisis estadístico no encontró diferencias significativas ($P \geq 0.05$) en los tratamientos. Otman *et al.* (2014) realizaron un estudio en frutos de guanábana provenientes de Tanzania y reportaron un aumento de la acidez titulable de 0.19 a 1.25 % en el día 8 de almacenamiento. Por su parte, Julio-Gabriel (2018), reportó 0.58 % de acidez titulable en frutos de guanábana recubiertos con resveratrol y 6-bencil aminopurina a los 11 días de almacenamiento. El aumento de la acidez titulable en frutos de guanábana también ha sido observado por Cardozo *et al.* (2012). Existen investigaciones que reportan un rango de 0.31 a 0.76 % de ácido málico en guanábanas en madurez de consumo con una ligera disminución al final del período de almacenamiento tal y como se reporta en la presente investigación (Lakshminarayana *et al.*, 1974; Tovar-Gómez *et al.*, 2011). Por su parte, Palma *et al.* (1993), realizaron una investigación en chirimoya y encontraron incrementos considerables en el contenido de ácidos orgánicos al tercer día después de cosechados proporcionando a los frutos las características sensoriales ácidas. Los resultados de la presente investigación están por debajo de lo reportado por Yahia *et al.* (2016), ellos reportaron 1.34 % de acidez titulable en frutos de guanábana almacenados a 25 °C durante 9 días.

Por otro lado, los frutos almacenados a 15 °C y posteriormente transferidos a 22 °C por cuatro días, presentaron un comportamiento decreciente en la acidez titulable. El porcentaje de acidez al finalizar el almacenamiento a 15 °C fue de 0.36 y 0.39 %, posteriormente estos valores disminuyeron hasta 0.25 y 0.27 %. No se observaron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos (Figura 2 D). Adetunji *et al.* (2014), mencionan que la disminución de la acidez titulable al final del almacenamiento indica que los ácidos orgánicos se utilizan como sustrato en el proceso de respiración o en la síntesis de azúcares una vez que los polisacáridos de reserva han sido utilizados. Arrazola-Paternina *et al.* (2013), reportaron valores de 6 % de acidez titulable en frutos de guanábana (madurez de consumo)

provenientes de Colombia, estos valores están por arriba de lo reportado en la presente investigación y podría estar influenciado por el tipo de cultivar y las condiciones edafoclimáticas (Oliveira, 1994).

2.4.6 Color

Los frutos almacenados a 22 °C sin recubrimientos y con recubrimiento al 2 % presentaron valores iniciales de luminosidad (L) de 45 y 43.5 respectivamente, se observó una disminución de la luminosidad una vez que los frutos llegaron a la madurez de consumo (40 y 43) (Figura 2 B). El comportamiento de la variable cromaticidad (C) de los frutos almacenados a 22 °C, sin recubrimientos y con recubrimiento al 2 % fue decreciente, presentando valores iniciales promedio de 17 al inicio del almacenamiento, y disminuyendo a 14 al llegar a la madurez de consumo (Figura 2 C). El ángulo hue (°h) que presentaron los frutos en madurez fisiológica almacenados a 22 °C sin recubrimientos y con recubrimiento al 2 % fue de 110 en promedio, posteriormente este valor disminuyó (103) al llegar a la madurez de consumo, para ambos tratamientos (Figura 2 D). El análisis encontró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. Donde los valores de luminosidad y cromaticidad fueron más altos (L=46.5 y C=16.3) para los frutos recubiertos, mientras que el ángulo de color (°hue) fue más alto (°h=112.4) en los frutos sin recubrimiento. El color verde brillante característico de los frutos de guanábana en estado de madurez fisiológica se degradó a un verde opaco, este cambio de coloración puede ser atribuido a la actividad enzimática de polifenol oxidasa (PPO) (Bray *et al.*, 2000) así como de la pérdida de clorofila y reducción de proteínas y del aumento en el estrés oxidativo, generando especies reactivas de oxígeno (Prochazkova *et al.*, 2001). Los resultados de luminosidad son similares a lo obtenido por Morales *et al.* (2015), quienes reportaron un índice de luminosidad de L=37 a los 15 días de almacenamiento utilizando 6-bencilaminopurina, como retardante de la maduración en frutos de guanábana. Minh *et al.* (2019) observaron que los recubrimientos comestibles a base de polisacáridos disminuyen el oscurecimiento retrasando la actividad enzimática de la peroxidasa (POD) y polifenol oxidasa (PPO). Los parámetros de color observados en los frutos de guanábana de la presente investigación son similares a lo reportado por Evangelista *et al.* (2003), donde mencionan que, en frutos de guanábana cultivados en Jiutepec, Morelos, los valores de matiz fueron entre $h = 92.9 \pm 2.5$ y 96.7 ± 2 .

Los frutos almacenados a 15 °C por cuatro días y posteriormente transferidos a 22 °C sin recubrimiento y con recubrimiento al 2 % registraron valores iniciales promedio de luminosidad (L) de 43.15 y 43 respectivamente (Figura 2 B). Los valores de cromaticidad (C) de los frutos sin y con recubrimiento al ser transferidos a 22 °C presentaron un comportamiento decreciente, registrando valores iniciales de 20 y 19 a .48 y 12.35 (Figura 2 C). Los valores de hue (°h) que presentaron los frutos sin y con recubrimiento al 2 % después de ser transferidos a 22 °C fue de 112 en promedio, este valor disminuyó (78 y 86) al llegar a la madurez de consumo (Figura 2 D). Los frutos almacenados a 22 y 15 °C presentaron valores similares en el color, indicando que los frutos presentaron un color verde opaco con baja luminosidad al final del almacenamiento. De acuerdo con el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, donde los frutos sin recubrimiento presentaron los valores más altos en los parámetros de color (L=43.8, C=17.9, H=105.5). Existen investigaciones que reportan una vida de anaquel corta en frutos de guanábana causado por bajas temperaturas (15 y 16 °C), donde se ha observado que los frutos presentan daños por frío en estas condiciones de almacenamiento (Reginato y Lizana, 1980; Guerra *et al.*, 1995). En la presente investigación no se observaron daños por frío en la cáscara de los frutos de guanábana. Castillo-Ánimas *et al.* (2005) observaron obscurecimiento en la cáscara de frutos de guanábana almacenados a 12 y 14 °C, recubiertos con una emulsión a base de cera de carnauba y mencionaron que las ceras no reducen el obscurecimiento de la guanábana. Otros tratamientos como el 1-metilciclopropano (1-MCP) han mostrado eficacia para retrasar los cambios en el color de algunas frutas como el mango (Hofman *et al.*, 2001).

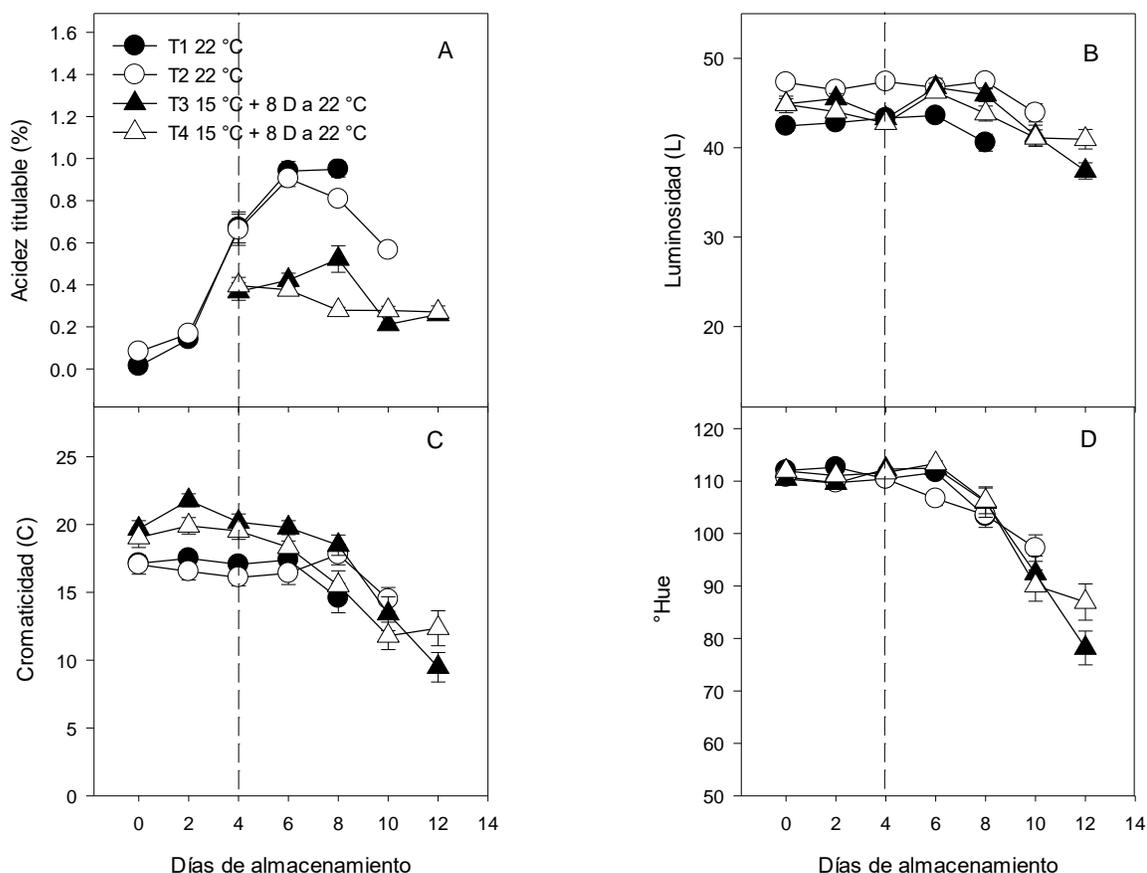


Figura 2. Comportamiento de la acidez titulable (A), luminosidad (B), cromaticidad (D) y °Hue (D) en frutos de guanábana a 22 y 15 °C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.

2.4.7 Fenoles totales

Los frutos sin y con recubrimiento almacenados a 22 °C presentaron valores iniciales de fenoles de 71.84 y 71.48 mg EAG/100 g.p.f respectivamente. Cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo la concentración de fenoles se incrementó a 98.5 y 162.79 mg EAG/100 g.p.f., respectivamente. Se observaron diferencias estadísticas en los tratamientos evaluados ($P \leq 0.05$) (Figura 1 A). El resultado de esta investigación es similar a lo reportado por Jiménez-Zurita *et al.* (2017), en frutos de guanábana (74.20 mg EAG/100 g.p.f.) sin recubrimiento almacenados a 22 °C en Tepic, Nayarit. También Isabelle *et al.* (2010) y Lako *et al.* (2007) reportaron valores de 42 y 2.36 mg EAG/100 g.p.f. en frutos de guanábana procedentes de Fiji y Singapur respectivamente. Babbar *et al.* (2011) han reportado que la variabilidad, en la concentración de fenoles, puede estar influenciada por el origen

geográfico, el cultivar, la cosecha, el tiempo de almacenamiento de los frutos, así como los métodos de extracción para el estudio.

En relación a los frutos almacenados a 15 °C por cuatro días y transferidos a 22 °C, presentaron un contenido de fenoles de 119.6 mg EAG/100 g.p.f (frutos sin recubrimiento), mientras que los frutos con recubrimiento sus valores fueron de 116.58 mg EAG/100 g.p.f, cuando alcanzaron la madurez de consumo los frutos presentaron contenido de 90.6 mg EAG/100 g.p.f (sin recubrimiento) y 93.98 (con recubrimiento), estadísticamente ($P \leq 0.05$), se observó diferencia entre los tratamientos (Figura 1 A). El contenido de fenoles en esta investigación está por arriba de lo reportado por Jiménez-Zurita *et al.* (2017) en frutos de dos selecciones de guanábana (almacenados a 15 °C) cuyas concentraciones de fenoles fueron de 58.49 y 44.94 EAG/100 g.p.f. durante la madurez de consumo, la disminución en la concentración de fenoles en frutos refrigerados, puede ser por la oxidación de los compuestos fenólicos causado por la actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO) (Lima de Oliviera *et al.*, 1994). Se han reportado valores inferiores de fenoles (2.91 - 2.93 g EAG/100 g.m.s en frutos de guanábana recubiertos con cera de candelilla y 1-MCP almacenados a 16 °C (Moreno-Hernández *et al.*, 2014). Jiménez-Zurita *et al.* (2017) sugieren que la diferencia en los valores del contenido de fenoles presentes en frutos de guanábana se puede atribuir a los diferentes métodos de extracción.

2.4.8 DPPH

Los frutos sin y con recubrimiento almacenados a 22 °C presentaron un incremento en la actividad antioxidante, registrando valores iniciales de 202 y 199 mg EAA/100 g.p.f. y valores finales de 274 y 271 mg EAA/100 g.p.f para el día 10 de almacenamiento. La actividad antioxidante, entre tratamientos, presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Figura 1 B). El aumento de la capacidad antioxidante podría estar relacionado con el incremento de la concentración de fenoles totales observados en esta investigación y concuerda con lo reportado por Akomolafe y Ajayi (2015), quienes mencionan que la capacidad de atrapar el radical DPPH está involucrada por los compuestos fenólicos presentes en la guanábana y que son capaces de neutralizar los radicales libres. Balois-Morales *et al.* (2019), reportaron valores de 67.67 y 56.86 mg AAE/100 g.p.f de dos

selecciones de guanábana de Nayarit respectivamente, mientras que Silva y Sirasa (2018), en una investigación realizada con frutos provenientes de Sri Lanka, reportaron valores de 247 mg EAA/100 g.p.f, siendo similares a los valores obtenidos en esta investigación.

Los frutos sin y con recubrimientos almacenados a 15 °C por cuatro días y posteriormente transferidos a 22 °C mostraron una disminución en la actividad presentando valores iniciales de 269 y 285 mg EAA/100 g.p.f. respectivamente, esta concentración posteriormente disminuyó hasta 236.5 y 245.6 mg EAA/100 g.p.f. a los 10 días de almacenamiento. Los frutos almacenados a esta condición de temperatura, estadísticamente se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 1 B). Balois-Morales *et al.* (2019) indicaron valores de 138.35 y 76.77 mg EAA/100 g.p.f a los ocho días de almacenamiento de dos selecciones de guanábana almacenados a 15 °C, además de observar un incremento en la actividad antirradical durante la maduración, este comportamiento se observó en la presente investigación y puede ser atribuido al efecto que tienen las temperaturas sobre la síntesis de los compuestos fenólicos y su capacidad de atrapar el radical DPPH (Akomolafe y Ajayi, 2015). Por su parte, Oms-Oliu *et al.* (2008), reportaron que los recubrimientos comestibles forman una atmósfera modificada y que estas tienen influencia sobre la actividad antioxidante en el fruto debido a que estas influyen en una mayor producción de fenoles.

2.4.9 ABTS

La actividad antioxidante de los frutos de sin y con recubrimiento almacenados a 22 °C presentaron valores iniciales de 128.7 y 97.5 mg EAA/100 g.p.f. respectivamente, posteriormente esta actividad disminuyó (86.3 y 73.5 mg EAA/100 g.p.f.) al día ocho de su almacenamiento. El análisis estadístico arrojó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 1 C). Huang *et al.* (2007), reportaron que la disminución de la actividad antioxidante (ABTS) puede relacionarse con la disminución de los compuestos fenólicos hacia el final de la maduración. Jiménez-Zurita *et al.* (2017) reportaron una disminución de compuestos fenólicos en la etapa final de maduración para dos selecciones de guanábana y por su parte, Balois-Morales *et al.* (2019) observaron una disminución similar en la actividad

antioxidante (ABTS) para el sexto día de almacenamiento a 22 °C de las mismas selecciones de guanábana.

Los frutos sin y con recubrimiento almacenados a 15 °C también registraron una disminución en la actividad antioxidante, reportando valores iniciales de 75.4 y 53.2 mg EAA/100 g.p.f. y finales de 46.5 y 52.4 mg EAA/100 g.p.f. respectivamente al día 12 de su almacenamiento (Figura 1 C). El análisis estadístico encontró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, siendo los frutos almacenados a 15 °C los que presentaron la menor actividad antioxidante (Figura 3 C). Balois-Morales *et al.* (2019, reportaron que los frutos almacenados a 15 °C por cuatro días y posteriormente ser transferidos a 22 °C presentaron un incremento en la actividad antioxidante. Estos resultados no coinciden con lo obtenido en esta investigación, esto probable debido a que el recubrimiento ayudo a evitar un posible daño por frio, tal y como lo reportan Piljac-Žegarac y Šamec (2011), indicando que el incremento de la actividad antioxidante podría estar asociado con las reacciones posteriores a la cosecha, como el metabolismo de los fenoles y las reacciones producidas por la ruptura celular del efecto de la temperatura. Por otro lado, Jin *et al.* (2011) mencionan que las diferencias observada en la actividad antioxidante podría estar relacionadas a la temporada de cosecha, factores genéticos o ambientales, temperaturas de almacenamiento y estados de madurez.

2.4.10 FRAP

Los frutos sin y con recubrimiento almacenados a 22 °C presentaron valores iniciales de 7.62 y 4.2 mg EAA/100 g.p.f respectivamente, posteriormente esta actividad se incrementó hasta valores de 13.36 y 10.69 mg EAA/100 g.p.f. El análisis estadístico encontró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos (Figura 1 D). Huang *et al.* (2007) informaron que la actividad antioxidante FRAP podría estar relacionada con la concentración de vitamina C, la cual se incrementa durante la maduración, además del aumento de los compuestos fenólicos. Por otro lado, Sucupira *et al.* (2012) reportaron que el incremento o disminución de la actividad antioxidante depende del tipo de sustancias y sus sitios de acción que influyen en la capacidad que estos tienen para reducir el Fe_3 a Fe_2 .

El comportamiento de los frutos almacenados a 15 °C sin y con recubrimiento registraron un aumento (de 12.49 hasta 19.2 y de 14.49 hasta 15.92 mg EAA/100 g.p.f. respectivamente) en dicha actividad (Figura 1 D). El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$). Balois-Morales *et al.* (2019) observaron un incremento en la capacidad reductora con valores de 119.28 y 108.95 mg EAA/100 g.p.f. en dos selecciones de guanábana expuestas a 22 °C para el cuarto día de almacenamiento, por otro lado, estas mismas selecciones fueron expuestas a 15 °C y presentaron un incremento en la actividad antioxidante con valores de hasta 73.64 y 37.14 mg EAA/100 g.p.f, este comportamiento se puede comparar con lo obtenido en esta investigación y se sugiere que esta actividad podría estar relacionada con la cantidad de vitamina C presente en los frutos así como la síntesis del mismo inducido por el estrés generado por las bajas temperaturas (Somogyi *et al.*, 2007). Moreno-Hernández *et al.* (2014) reportaron valores de actividad antioxidante en frutos de guanábana almacenadas a 16 °C con o sin emulsión (1-MCP) de 72.29 y 75.65 $\mu\text{mol ET/g.m.s.}$, respectivamente. La actividad antioxidante puede verse afectada por factores genéticos, por la variedad, así como el manejo en poscosecha (Javanmardi y Kubota, 2006).

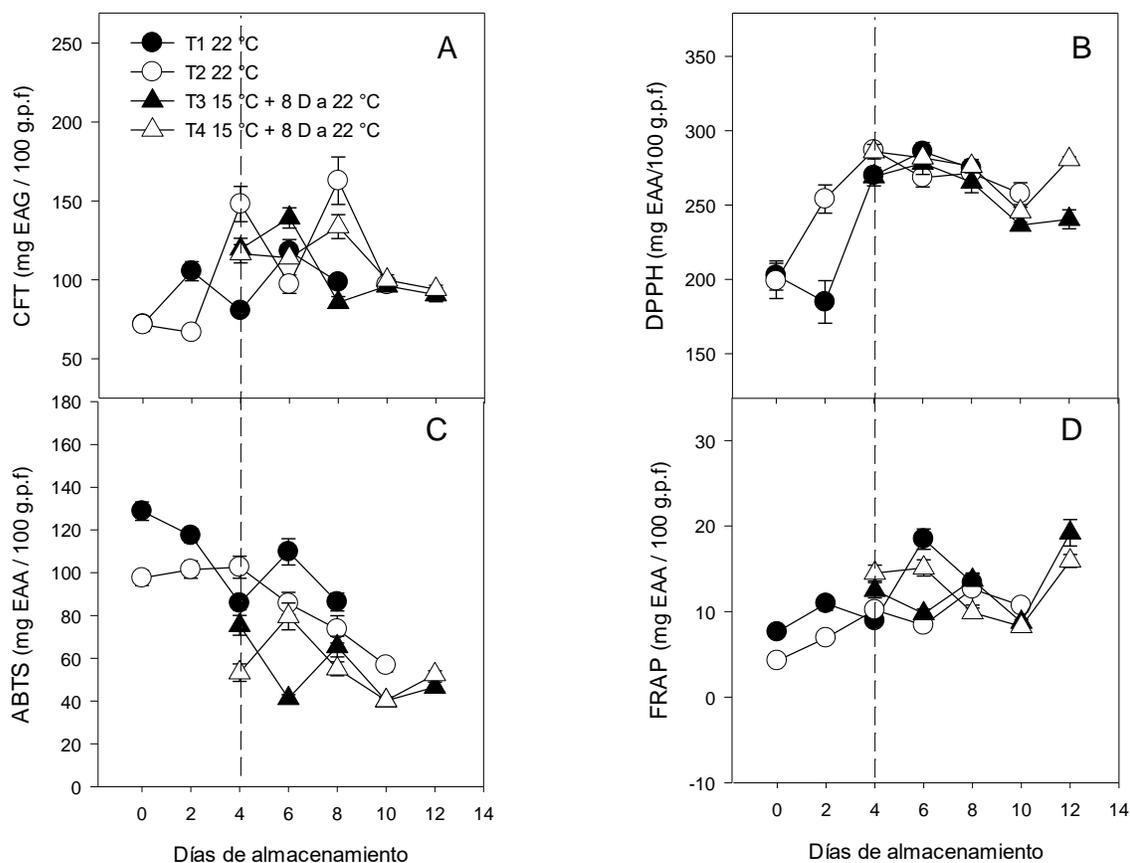


Figura 3. Contenido de fenoles totales (A) y actividad antioxidante (ABTS, DPPH Y FRAP) (B, C y D) en frutos de guanábana a 22 y 15 °C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.

2.4.11 Flavonoides

Los flavonoides son moléculas con alto poder antioxidante, poseen en su estructura grupos hidroxilo fenólicos que le confieren propiedades de quelación del hierro (Martínez-Flores *et al.*, 2002). En esta investigación los frutos sin y con recubrimiento almacenados a 22 °C mostraron valores iniciales de flavonoides en razón de 46.57 mg EQ/100 g.p.f., posteriormente se observó un incremento al día seis (71.16 y 82.07 mg EQ/100 g.p.f. respectivamente). Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 4 A). Los valores obtenidos en esta investigación son menores a los reportados por Vit *et al.* (2014) en frutos de guanábana originarias de Venezuela, donde se encontraron concentraciones de flavonoides de 574 mg EQ/100 g.p.f. Por su parte, Zamudio-Cuevas *et al.* (2014), reportaron en equivalentes de catequina (EC) valores de 55 EC/100 g.p.f en frutos

de guanábana provenientes de Actopan, Veracruz, México. Lako *et al.* (2007) no detectaron contenido de quercetina en pulpa de guanábana.

Los frutos sin y con recubrimientos almacenados a 15 °C por cuatro días registraron la mayor concentración al cuarto día (86.85 y 95.93 mg EQ/100 g.p.f.) respectivamente, posteriormente esta concentración disminuyó (78.04 y 62.52 mg EQ/100 g.p.f.) al día ocho de almacenamiento (Figura 4 A). Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. Zhou *et al.* (2016) reportaron que la temperatura de almacenamiento podría influir en la liberación de compuestos fenólicos ligados, ya que se destruye la estructura de la pared celular permitiendo la liberación de estos. Sandoval *et al.* (2014), indicaron presencia de flavonoides en pulpa de guanábana en madurez fisiológica almacenada a 8 °C cuya concentración fue de 0.125 mg/100 g.p.f (miricetina) y 0.139 mg/100 g.p.f (luteolina). Estas diferencias que existen en el contenido de flavonoides en cuanto a la presencia y las variaciones de los compuestos flavonoides en los frutos dependen del estado fenológico y del cultivar, así como la variedad de la especie vegetal en estudio (Haytowitz *et al.*, 2013).

2.4.12 Vitamina C

El contenido inicial de vitamina C de los frutos sin recubrimiento almacenados a 22 °C fue de 32.66 mg EAA/100 g.p.f., posteriormente se registró una disminución hasta valores de 19.4 mg EAA/100 g.p.f. Los frutos almacenados a 22 °C con recubrimiento registraron valores iniciales de 17.92 mg EAA/100 g.p.f., seguido de un incremento en la concentración de vitamina C (29 mg EAA/100 g.p.f.) para el octavo día de almacenamiento. El análisis estadístico encontró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 4 B). El incremento observado en la concentración de ácido ascórbico (AA) a temperatura ambiente puede atribuirse al catabolismo del almidón y los carbohidratos de la pared celular, la transformación de sales ácidas en forma libre y a la baja utilización de ácidos orgánicos durante la respiración (Paull, 1982). Así mismo, Balois-Morales *et al.* (2019) afirman que la concentración de vitamina C en frutos almacenados a 22 °C se incrementa conforme los frutos llegan a la madurez de consumo.

Los frutos almacenados a 15 °C sin y con recubrimiento presentaron valores iniciales de 16.68 y 19.08 mg EAA/100 g.p.f. respectivamente. Esta concentración disminuyó hasta

valores de 7.75 mg EAA/100 g.p.f. en los frutos sin recubrimiento, mientras que los frutos con recubrimiento registraron la mayor concentración (31.79 mg EAA/100 g.p.f). El análisis estadístico arrojó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 4 B). La concentración de vitamina C ha sido reportada con anterioridad, y se infiere que la reducción de este compuesto se atribuye al cambio de temperatura de almacenamiento, este comportamiento fue observado en frutos tropicales como el kiwi y la guayaba (Tavarini *et al.*, 2008; Suárez *et al.*, 2009). Los resultados obtenidos en la presente investigación son similares a lo reportado por Balois-Morales *et al.* (2019), quienes mencionan que la concentración de vitamina C disminuye en frutos almacenados a 15 °C. León-Méndez *et al.* (2016), en Colombia reportaron valores de 27.44 mg AA/100 g.p.f en pulpa de guanábana almacenada a 4 °C. Una investigación con frutos de guanábana (madurez de consumo), en Singapur, se obtuvieron valores de 15.98 mg AA/100 g.p.f. (Isabelle *et al.*, 2010). El contenido de vitamina C depende del manejo agronómico, la intensidad luminosa que el árbol está expuesto, características genéticas, ubicación geográfica y edad de la planta (Nogueira *et al.*, 2002).

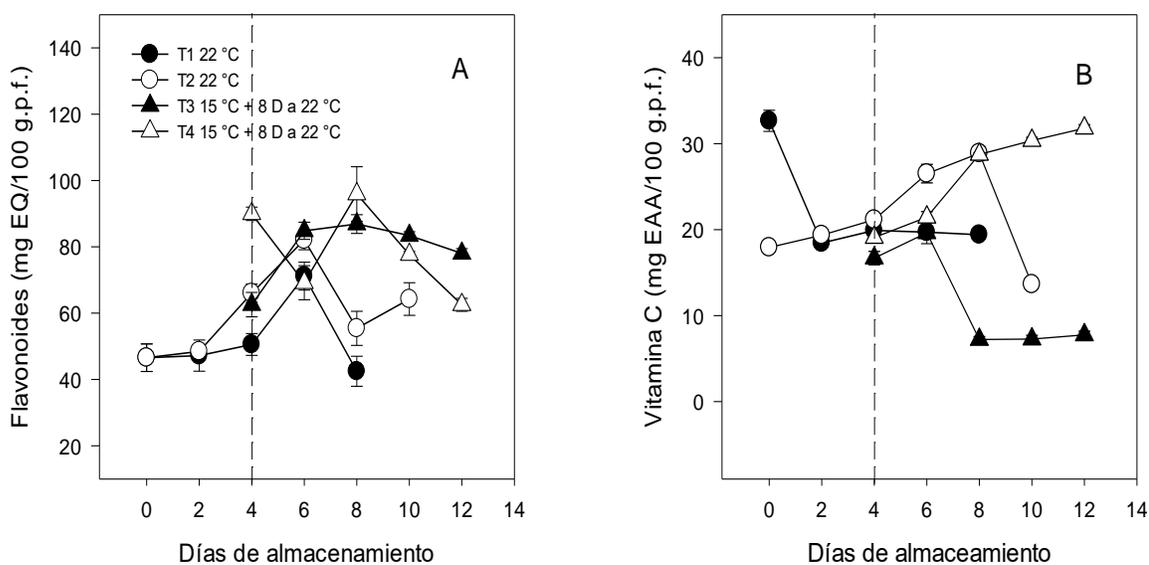


Figura 4. Contenido de flavonoides (A) y vitamina C (B) en frutos de guanábana a 22 y 15 °C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.

2.5 CONCLUSIONES

Los frutos recubiertos con almidón al 2 % almacenados a 22 y 15 °C presentaron menor pérdida de peso, mayor firmeza y concentración de sólidos solubles totales. La acidez titulable aumentó y el pH disminuyó en los frutos almacenados a 22 y 15 °C. El recubrimiento no contribuyó al retraso en la pérdida de color.

Frutos de guanábana, almacenados a 22 ° y recubiertos con almidón al 2%, presentaron alto contenido de fenoles. La actividad antioxidante de los frutos de guanábana, almacenados a 15 °C y recubiertos con almidón al 2%, se incrementó al final de la maduración de consumo. Temperaturas de almacenamiento de 15°C incrementaron el contenido de vitamina C y flavonoides, y una vida de anaquel de hasta 12 días.

2.6 LITERATURA CITADA

Adetunji, C., Fadiji, A., y Aboyeji, O. 2014. Efecto del gel de *Aloe Vera* combinado con recubrimiento de quitosano en la calidad posterior a la cosecha del pepino (*Cucumis sativa* L.) durante el almacenamiento ambiental. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 5(6): 391-397.

Akomolafe, S. F., y Ajayi. O. B. 2015. A comparative study on antioxidant properties, proximate and mineral. Compositions of the peel and pulp of ripe *Annona muricata* L. fruit. *International Food Research Journal*, 22: 2381-2388.

AOAC Official Method 942.15. 2005. Acidity (titrable) of fruit products. Official method of Analysis of AOAC International. 18(37): 10.

Arrazola-Paternina, G. S., Barrera-Violeth, J. L., y Villalba-Cadauid, M. I. 2013. Determinación física y bromatológica de la guanábana cimarrona (*Annona glabra* L.) del departamento de Córdoba. *ORINOQUIA-Universidad de los Llanos*, 17(2): 159-166.

Aziz P. A., y Yusof, S. 1994. Physico-chemical characteristics of soursop fruit (*Annona muricata*) during growth and development. *ASEAN Food Journal*, 9: 147-150

Babbar, N., Oberoi, H. S., Uppal, D. S., y Patil, R. T. 2011. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. *Food Research International*, 44: 391-396.

- Balois-Morales, R., Jiménez-Zurita, J. O., I, Alia-Tejacal, López-Guzmán, G. G., Palomino-Hermosillo, Y. A., y Sánchez-Herrera, L. M. 2019.** Antioxidant enzymes and antioxidant activity in two soursop selections (*Annona muricata* L.) from Nayarit, Mexico stored at 15 °C. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41: e-083.
- Benzie, I. F. F., y Strain, J. J. 1996.** The ferric reducing ability of plasma (frap) as a measure of antioxidant power: the frap assay. *Analytical Biochemistry*, 239: 70-76.
- Bonilla, S. M., Álvarez, D. A., Mendieta, J. S., y Valdiviezo, C. J. 2017.** Elaboración de un recubrimiento comestible para frutas formulado a base de una emulsión de almidón de papa y aceite vegetal inocuo para el consumidor. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 32(2): 7-16.
- Bray, E. A., Bailey-Serres, J., y Weretilnyk, E. 2000.** Responses to abiotic stresses. In W. Gruissem, B. Buchanan, R. Jones, eds, *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, USA. p. 1158-1249.
- Cardozo, C. J., y Valenzuela, J. R. 2012.** Physico-chemical properties of the soursop fruit (*Annona muricata* L. cv. Elita) in postharvest. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) Paper number 121340866.
- Castillo L. E. M. 2011.** Introducción al SAS para Windows, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 295 p.
- Coêlho de lima, M., Elesbão, R., Almeida, Cunha, H., Enéas, J., y Gurgel, J. 2004.** Uso de cera e 1-metilciclopropeno na conservação refrigerada de Graviola (*Annona muricata* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(3): 433-437.
- Correa-Gordillo, J., Ortiz, D., Larrahondo, J., Sánchez-Mejía, M. y Pachón, H. 2012.** Actividad antioxidante en guanábana (*Annona muricata* L.): una revisión bibliográfica. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 11: 111-126.
- De Lima, M. A., Alves, R. E., y Filgueiras, A. C. 2006.** Changes related to softening of soursop during postharvest maturation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(12):1707-1713.
- Dürüst, N., Sümengen, D. y Dürüst, Y. 1997.** Ascorbic acid and element contents of foods of Trabzon (Turkey). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 2085-2087.
- Dussán-Sarria, S., Torres-León, C., y Reyes-Calvache, P. M. 2014.** Efecto del recubrimiento comestible sobre los atributos fisicoquímicos de mango 'Tommy Atkins' mínimamente procesado y refrigerado. *Acta Agronómica*, 63: 212-221.

- Espinosa, Y., Ortiz R., Tovar B., Mata, M., y Montalvo E. 2013.** Physiological and physicochemical behavior of sour sop fruits refrigerated with 1-methylcyclopropene. *Journal of Food Quality*, 36(1): 10-20
- 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 Servicio Horticultura*, 9:69-79.
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., y Ibarz, A. 2011.** Edible films and coatings: structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science and Technology*, 22(6): 292-303.
- Guerra, N. B., Livera, A. V. S., Da Rocha, J. A. M. R., y De Oliveira, S. L. 1995.** Almacenamiento de la guanábana (*Annona muricata* L.) en bolsas de polietileno con absorbentes de etileno. *Proc. International Conference Harvest and Postharvest Technologies for Fresh Fruits and Vegetables*. Guanajuato, México. pp. 617-622.
- Haytowitz, D. B., Bhagwat S., y Holden, J. M. 2013.** Sources of variability in the flavonoid content of foods. *Procedia Food Science*, 2: 46-51.
- Hofman, P. J., Jobin-Décor, M., Meiburg, F. G., Macnish, A. J., y Joyce, D. C. 2001.** Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41: 567-572.
- Huang, R., Xia, R., Hu, L., Lu., Y., y Wang, M. 2007.** Antioxidant activity and oxygen-scavenging system in orange pulp during fruit ripening and maturation. *Scientia Horticulturae*, 113:166-172.
- Isabelle, M., Lan-Lee, B. Thiam, M., Koh, W., Huang, D., y Nam, C. 2010.** Antioxidant activity and profiles of common fruits in Singapore. *Food Chemistry*, 123:77-84.
- Javanmardi, J. J., y Kubota. C. 2006.** Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41:151-155.
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Juárez-López, P., Sumaya-Martínez, M. T., y Bello-Lara, J. E. 2016.** Caracterización de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7:1261-1270.

- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Sánchez Herrera, L. M., Jiménez-Ruiz, E. I., Bello-Lara, J. E., García-Paredes J. D. y Juárez-López P. 2017.** Cold Storage of Two Selections of Soursop (*Annona muricata* L.) in Nayarit, Mexico. *Journal of Food Quality*, 2017:1-9.
- Jin, P., Wang, Y. S., Wang, Y.C., y Zheng, Y. 2011.** Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic compounds in strawberries. *Food Chemistry*, 124:262-270.
- Julio-Gabriel, A. (2018).** Evaluación poscosecha de resveratrol y 6-bencil aminopurina en guanábana (*Annona muricata* L.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Lako, J., Craige-Trenerry, V., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran S., y Premier, R. 2007.** Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*. 101:1727-1741.
- Lakshminarayana, S., Velasco, J. J., Sarmiento, L. F., y Andrade, R. 1974.** Investigación preliminar sobre fisiología de postcosecha e industrialización de la guanábana. Comisión Nacional de Fruticultura, México. Serie Investigaciones Fisiológicas No. 4. D. F., México. 11 p.
- León-Méndez, G., Granados-Conde, C., y Osorio-Fortich, M. R. 2016.** Caracterización de la pulpa de *Annona Muricata* L. cultivada en el Norte del Departamento de Bolívar-Colombia. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21:1-9.
- Lima de Oliveira, S., Barbosa, G. N., Sucupira, M. I., y Souza, L. A. 1994.** Polyphenoloxidase activity, polyphenols concentration and browning intensity during soursop (*Annona muricata* L.) maturation. *Journal of Food Science*, 59(5): 1050-1052.
- Lima, M. A. y Alves, R. E. 2011.** Soursop (*Annona muricata* L.). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, 4: 363-391.
- López-Velasco, A., De La Cruz-Medina, J., León-García, E., García-Galindo, H., y Vázquez-Hernández, M. 2018.** Aplicación de tratamientos hidrotérmico, fungicida y cera sobre el oscurecimiento superficial en guanábana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5): 1075-1081.

- Márquez, C., Villacorta, V., Yepes, D., Ciro, H., y Cartagena, J. 2012.** Physiological and physico chemical characterization of the soursop fruit (*Annona muricata* L. cv. Elita). Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín, 65(1): 6477-6486.
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J. Culebras M., y Tuñón, M. 2002.** Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. Nutrición Hospitalaria, 17:271-278.
- Medina, M., y Pagano, F. 2003.** Caracterización de la pulpa de la guayaba (*Psidium guajava* L.) tipo “Criolla Roja”. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ), 20: 72-86.
- Minh, N. P. 2017.** Application of alginate film for soursop fruit preservation. International Journal of Applied Engineering Research, 12(24): 15287-15291
- Minh, N. P., Vo, T. S., Tram, D. N., Nga, N. H., Bang, N. T., Thi, M., y Trinh, D. 2019.** Application of chitosan edible coating for soursop (*Annona muricata* L) storage. Journal of Pharmaceutical Sciences. 11(2): 284-288.
- Morales, A., Franco-Mora, O., Castañeda-Vildózola, A., y Morales-Rosales, E. J. 2015.** Inhibición del bronceado en cáscara de chirimoya ‘Fino de Jete’ por aplicación de 6-bencilaminopurina. Scientia Agropecuaria, 6(2): 91-97.
- Morales, F.J., y Jiménez, P. S. 2001.** Free radical scavenging capacity of maillard reaction products as related to colour and fluorescence. Food Chemistry, 72:119-125.
- Moreno-Hernández, C. L., Sáyago-Ayerdi, S. G., García-Galindo, H. S., Mata-Montes M., y Montalvo-González. 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, 2014:1-6.
- Nogueira, R., Jurema-Mansur, C., Morales-Vieira de Proenca, J. A., Hélio-Almeida, B., y Silva-Junior, J. F. 2002.** Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico-químicas de acerola. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37:463-470.
- Ojeda-De Rodríguez, Coronado, J., Nava, R. Sulbarán, B., Araujo D., y Cabrera, L. 2007.** Caracterización fisicoquímica de la pulpa de la guanábana (*Annona muricata* L.) cultivada en el occidente de Venezuela. Boletín del centro de investigaciones biológicas, 41 (2): 151-160
- Oliveira, G. S. F. 1994.** Estudio de los cambios físico-químicos y fisiológicos de la maduración de chirimoya (*Annona cherimola* Mill). Influencia de la atmosfera controlada. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid, 221 p.

- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., y Martin-Belloso, O. 2008.** Using polysaccharide-based coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *LWT-Food science and technology*, 41:1862-1870.
- Otman, C. O., Fabian, C., y Lugwisha, E. 2014.** Post-harvest physicochemical properties of soursop (*Annona muricata* L.) fruits of Coast region, Tanzania. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2(5): 220-226.
- Palma, T., Aguilera, J. M., y Stanley, D. W. 1993.** A Review of postharvest events in cherimoya. *Postharvest Biology and Technology*, 2: 187-208.
- 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.
- Park, H., Byun, Y., Kim, Y., Whiteside, W., y Bae. H. 2014.** processes and applications for edible coating and film materials from agropolymers. *Innovations in Food Packaging*, (Second Edition): 257-275.
- Paull, R., y Duarte, O. 2011.** Tropical fruits. Volume 2. CABI Publishing. Oxfordshire, UK. 371.
- Paull, R.E. 1982.** Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production. *Journal series (Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources)*, no. 2634. 585 p.
- Piljac-Žegarac, J., y Šamec, D. 2011.** Antioxidant stability of small fruits in postharvest storage at room and refrigerator temperatures. *Food Research International*, 44:345-350.
- Prochazkova, D., Sairam, R. K., Srivastava, G. C., y Singh, D. V. 2001.** Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science* 161: 765-771.
- Quintero, C., Falguera, V., y Muñoz, A. 2010.** Películas y recubrimientos comestibles: Importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*, 1:93-118.
- Ramírez, R., Arenas L., Acosta K., Yamarte M., y Sandoval L. 2012.** Efecto del escaldado sobre la calidad nutricional de pulpa de Guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 13(1): 48-57.
- Ramos-Guerrero, A., González-Estrada, R. R., Romanazzi, G., Landi, L., y Gutiérrez-Martínez, L. 2019.** Efectos del quitosano en el control poscosecha de la antracnosis en frutos

de guanábana (*Annona muricata* L.). Revista Mexicana de Ingeniería Química, 19(1): 99-108.

Rastegar, S., Hassanzadeh Khankahdani, H., y Rahimzadeh, M. 2019. Effectiveness of alginate coating on antioxidant enzymes and biochemical changes during storage of mango fruit. Journal of Food Biochemistry, 2019;00: e12990.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology y Medicine, 26: 1231-1237.

Reginato, M. G., y Lizana, A. 1980. Alteraciones detectadas en chirimoyas durante el almacenamiento. Investigación Agrícola, 6(3): 97-101.

Sandoval, L., Ettiene, G., Pérez-Pérez, E., Fuenmayor, M., Raga, J., y Silva, N. 2014. Determinación de flavonoides en frutos de *Annona muricata* L. provenientes de plantas diferentes, empleando cromatografía líquida de alta resolución. Revista de la facultad de agronomía (LUZ), 1:785-800.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2019. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. <http://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Junio 2019).

Silva, K., y M. Sirasa. 2018. Antioxidant properties of selected fruit cultivars grown in Sri Lanka. Food Chemistry, 238: 203-208.

Singh, D. R., Singh, S., y Shajeeda, V. 2014. Phytochemical composition, antioxidant activity and Sensory evaluation of potential underutilized fruit Soursop (*Annona muricata* L.) in Bay Islands. Journal of the Andaman Science Association, 19(1): 30-37.

Somogyi, A., Rosta, K., Pusztai, P., El-Martens, Z., y G. Nagy. 2007. Mediciones antioxidantes. Medición Fisiológica, 28:41-55.

Sothornvit, R., y Rodsamran, P. 2008. Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. Postharvest Biology and Technology, 47(3): 407-415.

Stintzing, F. C., Herbach, K. M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh, C.C., Bunch, R., y Felker, P. 2005. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia ssp.*) clones. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53: 442-451.

- Suárez, J., Pérez De Camacaro M., y Giménez, A. 2009.** Efecto de la temperatura y el estado de madurez sobre la calidad poscosecha de la fruta de guayaba (*Psidium guajava* L.) procedente de MERCABAR, estado Lara, Venezuela. Revista Científica UDO Agrícola, 9: 60-69.
- Sucupira, N., Silva, A., Pereira, G., y Costa, J. 2012.** Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. UNOPAR Científica, Ciências biológicas and da saúde, 14: 263-269.
- Tavarini, S., Degl'innocenti, E., Remorini, D., Massai, R., y Guidi, L. 2008.** Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. Food Chemistry, 107: 282-288.
- Tovar-Gómez, B., Mata-Montes de Oca, M., García-Galindo, H., y Montalvo-González, E. 2011.** Efecto de emulsiones de cera y 1-metilciclopropeno en la conservación poscosecha de guanábana. Revista Chapingo Serie Horticultura, 17: 53-61.
- Vázquez-Briones, M. C., y Guerrero-Beltran, J. A. 2013.** Recubrimientos de frutas con biopelículas. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, 7:5-14.
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V., y Moldão-Martins, M. 2013.** Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. LWT - Food Science and Technology, 52(2): 80-92.
- Vit, P., Santiago, B., y Pérez-Pérez, E. 2014.** Composición química y actividad antioxidante de pulpa, hoja y semilla de guanábana *Annona muricata* L. Interciencia, 39: 350-353.
- Zahedi, S. M., Hosseini M. S., Karimi, M., y Ebrahimzadeh, A. 2019.** Effects of postharvest polyamine application and edible coating on maintaining quality of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Langra during cold storage. Food science & nutrition, 7(2): 433-441.
- Zamudio-Cuevas, Y., Díaz-Sobac, R., Vázquez-Luna, A., Landa-Solís, C., Cruz-Ramos, M., Santamaría-Olmedo, M. ... y López-Reyes, A. 2014.** The antioxidant activity of soursop decreases the expression of a member of the NADPH oxidase family. Food y Function, 5: 303-309.

Zhishen, J., Mengcheng, T., y Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64: 555-559.

Zhou, L., Cao, Z., Bi, J., Yi, J., Chen, Q., Wu, X., y Zhou, M. 2016. Degradation kinetics of total phenolic compounds, capsaicinoids and antioxidant activity in red pepper during hot air and infrared drying process. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 51: 842-853.

Capítulo III.

RECUBRIMIENTO A BASE DE MUCÍLAGO DE JAMAICA APLICADO A FRUTOS DE GUANÁBANA EN ALMACENAMIENTO POSCOSECHA

EDIBLE COATING BASED ON ROSELLE MUCILAGE APPLIED TO SOURSOP FRUITS IN POSTHARVEST STORAGE

Miguel Angel De los Santos-Santos,¹ *Rosendo Balois-Morales,^{1,2} José Orlando Jiménez-Zurita,² Irán Alia-Tejacal,³ Graciela Guadalupe López-Guzman,¹ Yolotzin Apatzingan Palomino Hermosillo,² Guillermo Berumen-Varela,² and Juan Diego García-Paredes,¹.

¹Programa de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias, Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela, km. 9. C.P. 63780, Xalisco, Nayarit. México. (angel7-20@outlook.com). ²Unidad de Tecnología de Alimentos-Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura S/N Col. Centro, Tepic Nayarit. México. (balois_uanayar@hotmail.com; zurit_8@hotmail.com). ³Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad Núm. 1001, Col. Chamilpa. C.P. 62209, Cuernavaca Morelos, México.

*Autor para correspondencia (balois_uanayar@hotmail.com)

3.1 RESUMEN

El fruto de guanábana (*Annona muricata* L.) es de importancia económica para Nayarit, se caracteriza por presentar un sabor agridulce, lo que lo hace atractivo para el consumidor; sin embargo, presenta una rápida maduración lo que ocasiona una corta vida de anaquel. Se han aplicado diversas técnicas de manejo poscosecha para disminuir sus procesos metabólicos, tal como lo es la refrigeración, uso del 1-MCP, atmósferas controladas y modificadas; en años recientes, se han utilizado los recubrimientos a base de polisacáridos aplicados a frutos. Por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar los cambios fisicoquímicos, bioquímicos y actividad antioxidante de frutos de guanábana con recubrimiento a base de mucílago (2%) y almacenados a 22 y 15 °C con una HR del 90 %. Se evaluó pérdida de masa, firmeza, color, sólidos solubles, acidez, pH, fenoles, flavonoides, vitamina C y actividad

antioxidante. Los resultados obtenidos, los frutos con recubrimiento almacenados a 15 °C presentaron menor pérdida de peso (6.4), menor firmeza (29.7 N), mayor concentración de SST (10.4 °Brix), baja acidez (0.38 %). El contenido de fenoles totales disminuyó en los frutos con recubrimiento almacenados a 22°C (54.3 mg EAA / 100 g.p.f.). La mayor actividad antioxidante fue por el método DPPH en frutos recubiertos y almacenados a 15 °C (257.9 mg EAA / 100 g.p.f.). Alta concentración de vitamina C en frutos recubiertos y almacenados a 15 y 22 °C (20.5 y 17.5 mg EAA / 100 g.p.f.), concluyendo que el recubrimiento de mucílago de jamaica al 2 %, aplicado en frutos almacenados a 15 ° C, evita la pérdida de peso, disminución de la acidez titulable, incrementa el contenido de fenoles y de vitamina C; así mismo durante la madurez de consumo se incrementa la actividad antioxidante y una vida de anaquel de hasta ocho días.

Palabras clave: *Annona muricata* L, *Hibiscus sabdariffa*, actividad antioxidante, compuestos fenólicos, vitamina C.

Summary

The soursop fruit (*Annona muricata* L.) is a crop of significant economic value for Nayarit, which is characterized by having a bittersweet taste, making it attractive to the consumer. However, the soursop has a rapid maturation which causes a short shelf life. Several postharvest management techniques have been applied to reduce their metabolic processes, such as refrigeration, use of 1-methylcyclopropene (1-MCP), controlled and modified atmospheres. In recent years, polysaccharides based-coatings have been applied to fruits. Therefore, the objective of this investigation was to evaluate the physicochemical, biochemical changes as well as the antioxidant activity of soursop fruits with a mucilage-based coating (2%) and stored at 22 °C and 15 °C with a 90% RH. Weight loss, firmness, color, soluble solids, acidity, pH, phenols, flavonoids, vitamin C and antioxidant activity was evaluated. The results obtained in the coated fruits stored at 15 °C showed lower weight loss (6.4), lower firmness (29.7 N), higher TSS concentration (10.4 ° Brix) and lower acidity (0.38%) compared with the uncoated fruits. The total phenolic content decreased in coated fruits stored at 22 °C (54.3 mg EAA/100 g FW). The highest antioxidant activity (DPPH method) was recorded in fruits coated and stored at 15 °C (257.9 mg EAA/100 g FW).

Moreover, a high concentration of vitamin C was observed in fruits coated and stored at 15 and 22 °C (20.5 and 17.5 mg EAA/100 g FW), concluding that the coating based on Roselle mucilage (2%) in combination with the temperature at 15 °C, prevents weight loss, decrease in titratable acidity, increases the content of phenols and vitamin C. Furthermore, an increase in the shelf life up to eight days and in the antioxidant activity at the maturity of consumption was observed in the fruits coated with 2% Roselle mucilage stored at 15°C.

Keywords: *Annona muricata* L, *Hibiscus sabdariffa*, antioxidant activity, phenolic compounds, vitamin C.

3.2 INTRODUCCIÓN

Las plantas de guanábana son originarias de América central y se cultivan en algunos países del Sureste de China hasta Australia, así como en zonas bajas y cálidas del Este y Oeste de África (Fuenmayor *et al.*, 2016). México es el principal productor de guanábana a nivel mundial, en el año 2018 se registró una producción nacional de 29,228.46 ton y el estado de Nayarit fue el mayor productor de este fruto con 21,810 ton (SIAP, 2019). La producción de guanábana contribuye al crecimiento económico de Nayarit, sin embargo, siendo el mayor productor, existe una problemática en el manejo del fruto debido a la alta tasa de respiración y producción de etileno que conllevan a un ablandamiento acelerado dando como resultado una corta vida de anaquel (Balois-Morales *et al.*, 2019; López-Velasco *et al.*, 2018; Berumen-Varela *et al.*, 2019). En este contexto, el almacenamiento y la comercialización del fruto se ve limitada, por lo tanto, es necesario implementar métodos de almacenamiento inocuos para los consumidores (Castro *et al.*, 2017). Dado que la calidad inicial del fruto no puede ser mejorada, aplicando tecnologías durante el periodo poscosecha, es posible mantener sus características organolépticas utilizando métodos de almacenamiento como el uso de empaques, sistemas de refrigeración, atmósferas controladas o modificadas (De la Vega *et al.*, 2017). Dentro de las alternativas para el almacenamiento poscosecha destaca el uso de recubrimientos comestibles, que actúan como una atmósfera modificada, elaborados a partir de polisacáridos, éstos crean una capa semipermeable en el fruto que permite el intercambio gaseoso, reduciendo los procesos metabólicos, lo que incrementa la vida poscosecha del fruto (Vázquez-Briones, 2013). Dentro de los polisacáridos utilizados como

recubrimiento se encuentran el quitosano (Minh *et al.*, 2019), almidón (Nogueira *et al.*, 2019) alginato (Souza *et al.*, 2015) y el mucílago (Ramírez *et al.*, 2013). Los mucílagos se clasifican dentro de los hidrocoloides y son macromoléculas poliméricas complejas de naturaleza hidrocarbonada, que debido a su estructura altamente ramificada pueden modificar la reología de una solución (Pérez *et al.*, 2003), por lo que pueden considerarse como fuente de materia prima en la elaboración de recubrimientos comestibles (Del Valle *et al.*, 2005). Dentro de las principales fuentes vegetales de las cuales se pueden extraer polisacáridos, la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) es una excelente fuente de mucílago que se puede utilizar para hacer recubrimientos comestibles y aplicarlos en productos hortofrutícolas para prolongar su vida útil. Castañeda y Cáceres (2014) reportaron que la jamaica también tiene un alto contenido de pectina. En el contexto anterior, el mucílago de jamaica puede utilizarse como material de elaboración de un recubrimiento comestible para prolongar la vida de anaquel de frutos, por lo que en esta investigación se evaluó el efecto del recubrimiento a base de mucílago de jamaica (2 %) en los cambios fisicoquímicos (peso, color, firmeza, acidez titulable, pH, sólidos solubles totales), bioquímicos (concentración de fenoles totales, vitamina C y Flavonoides) y en actividad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP) durante el almacenamiento poscosecha de frutos de guanábana almacenados en refrigeración.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de guanábana fueron cosechados en madurez fisiológica, en un huerto ubicado en el ejido Venustiano Carranza del municipio de Tepic, Nayarit (21° 32' 2.77" N, 104° 58' 37.73" O, 893 msnm) entre las 7 y 8 a.m. (horario pacífico). Los frutos fueron trasladados al laboratorio de análisis especiales de la Unidad de Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nayarit. Se realizó una selección de frutos con peso entre 700 y 800 g, color verde brillante, ausencia de daños mecánicos y fitosanitarios. Los frutos se lavaron con agua corriente de la llave y posteriormente se sumergieron en agua con hipoclorito de sodio al 1% (v/v) y se dejaron secar hasta que el agua se evaporó.

Elaboración y aplicación del recubrimiento. Se preparó una solución al 2 % de mucílago de cálices de jamaica y agua (p/v), posteriormente se ésta se llevó a una temperatura de $50 \pm$

2 °C, en una placa de calentamiento, durante 30 minutos en agitación constante, la temperatura ayuda a que la solución tome una consistencia viscosa, lo que permitirá una mejor adhesión del mucilago a los frutos, dando como resultado final el recubrimiento; éste se aplicó a los frutos de guanábana por inmersión durante un minuto. Una vez que los frutos fueron recubiertos y se dejaron a la intemperie para que el mucílago (2%) de jamaica solidificara; éstos se almacenaron en cámaras de climatización controlada (Climacell®).

Diseño experimental. Los frutos se agruparon en cuatro lotes (30 frutos por cada uno) de los cuales se formaron los tratamientos (T): T1 (frutos sin recubrimiento) y T2 (frutos con recubrimiento) almacenados a 22 °C y 90 % HR, T3 (frutos sin recubrimiento) y T4 (frutos con recubrimiento) almacenados durante 4 días a 15 °C y posteriormente transferidos a 22 °C por cuatro días a 90% HR. Los tratamientos se establecieron bajo un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 2x2. La unidad experimental fue un fruto con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron pérdida acumulada de peso (%), firmeza (N), pH, sólidos solubles totales (°Brix), acidez total titulable (%), color (Luminosidad= L, Cromaticidad= C, °hue= ángulo hue), fenoles totales (mg equivalentes de ácido ascórbico), actividad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP) expresada en mg equivalentes de ácido ascórbico, flavonoides totales (mg equivalentes de quercetina) y vitamina C (mg equivalentes de ácido ascórbico). Las evaluaciones se llevaron a cabo al día cero (inicio) y a los 2, 4, 6 y 8 días de almacenamiento.

Variables evaluadas

Análisis fisicoquímicos. La pérdida fisiológica de peso se determinó por gravimetría utilizando una balanza digital (Scout Pro, OHAUS®). La pérdida de firmeza se midió en las zonas ecuatoriales del fruto con cáscara utilizando un penetrómetro (Force Gauge modelo GY-4) con un puntal de 8 mm de diámetro. El pH se midió en la pulpa, se utilizó un potenciómetro (Hanna instruments HI22). La concentración de sólidos solubles totales (SST) se determinó colocando una alícuota en un refractómetro digital (HANNA HI 96801). La acidez titulable se determinó a partir de un gramo de pulpa homogenizada en 10 mL de agua destilada, centrifugando a 9,000 rpm durante 25 minutos a 4 °C. Posteriormente se determinó por el método oficial (AOAC, 2005), mediante la titulación volumétrica con hidróxido de

sodio (NaOH 0.01 N) y fenolftaleína como indicador. Se determinaron los componentes de color de la cáscara, brillantez o luz reflejada (L) (0= negro puro, 100= blanco puro), ángulo matiz ($^{\circ}$ h) (0° = rojo purpura, 180° = verde) y cromaticidad (C, intensidad desde el gris hacia el color cromático puro), con un colorímetro (Konica Minolta[®]).

Análisis bioquímicos

Preparación del material en estudio. Para la determinación de los fenoles totales y capacidad antioxidante (AOX), se utilizó un gramo de pulpa fresca de guanábana homogenizado (Ultraturrax T25 IKA[®]) con 10 mL de agua destilada. Dado que la capacidad antioxidante de los productos hortofrutícolas está determinada por diferentes mecanismos de acción, en esta investigación se utilizaron tres métodos para determinar la actividad antioxidante (AOX) que son DPPH, ABTS y FRAP, tal como lo recomiendan Pérez-Jiménez *et al.* (2008). Para la cuantificación de flavonoides y vitamina C, se utilizó un gramo de pulpa y se homogenizó con metanol grado reactivo (flavonoides), mientras que para la vitamina C se utilizó ácido tricloroacético (10 %). Posteriormente, cada mezcla se centrifugó (Hermle Z 326K) a 9000 revoluciones por minuto (rpm) a una temperatura de 4°C durante 30 minutos, recuperando la fase líquida, respectivamente.

Compuestos fenólicos totales. Se determinaron de acuerdo a la metodología de Stintzing *et al.* (2005). Se agregó 50 μL de muestra en viales eppendorf, posteriormente se les agregó 250 μL de solución de Folin-Ciocalteu (v/v 1:10 en agua desionizada) y 200 μL de solución de carbonato de sodio (7.5%), la solución se agitó en un vórtex (Genic2 G650) y se incubó a 23°C durante 30 minutos en ausencia de luz. Se midió la absorbancia en un lector de microplacas (Power Wave XS, Biotek) a una longitud de onda de 765 nm. Los resultados obtenidos se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (mg EAG/100 g.p.f.).

DPPH. Se determinó mediante la metodología de Morales y Jiménez (2001), la cual consiste en preparar una solución de DPPH (7.4 mg/100 mL de etanol al 80 %), la solución se agitó durante 60 minutos. Posteriormente se diluyó con metanol (80 %) hasta un valor de absorbancia de 0.70 (± 0.02) a 520 nm. Se agregaron 50 μL de solución acuosa en tubos eppendorf (1.5 mL) y 250 μL de la solución de DPPH, se dejó reposar en obscuridad durante

30 minutos. La absorbancia se midió a una longitud de onda de 520 nm (Power Wave XS, Biotek). La AOX se expresó en mg equivalente de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.p.f.).

ABTS. La determinación de la capacidad inhibidora del catión radical 2,2'azinobis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico (ABTS), se cuantificó de acuerdo a la metodología de Re *et al.* (1999). Se preparó una solución de ABTS (7 mM) y otra de persulfato potásico (2.45 mM), ambas con agua destilada. Las soluciones se mezclaron en relación 1:1(v/v), posteriormente la solución se incubó durante 16 horas en oscuridad a 23 ± 1 °C y se mantuvo en agitación constante para formar el radical ABTS^{•+}, este se diluyó con etanol (20%) hasta obtener un valor de absorbancia de 0.70 (± 0.02) a 754 nm. Se tomaron 10 μ L de muestra y se hizo reaccionar con 490 μ L de ABTS durante siete minutos. La absorbancia se leyó a 734 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.p.f.).

FRAP. Se realizó por la metodología de Benzie y Strain (1996) para evaluar la habilidad de los compuestos de la pulpa de guanábana en reducir el hierro (III) a hierro (II). En un tubo eppendorf se agregaron 25 μ L de solución acuosa, 63 μ L de buffer de fosfatos (PBS) (0.2 M, pH 6.6) y 63 μ L de hexacianoferrato de potasio ($K_3Fe(CN)_6$) al 1%, agitando con un vórtex, posteriormente se incubó en oscuridad durante 30 minutos a 50°C y se agregaron 63 μ L de ácido tricloroacético (10%), después se agitó en un vórtex, se tomó una alícuota de 126 μ L del sobrenadante y se colocó en tubo eppendorf y se le agregaron 126 μ L de agua destilada y 25 μ L de cloruro férrico ($FeCl_3$) al 0.1%, la absorbancia se midió a 700 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.p.f.).

Flavonoides. Se realizó mediante la metodología desarrollado por Zhishen *et al.* (1999), se agregaron 50 μ L de muestra en tubos eppendorf y 100 μ L de agua desionizada. Posteriormente se adicionaron 10 μ L de NaOH (15 %), se agitó en un vórtex y se reposó durante seis minutos en oscuridad a 23 °C. Transcurrido el tiempo, se agregaron 15 μ L de $AlCl_3$ (10 %) y se agitó en un vórtex. La solución se reposó durante seis minutos en oscuridad a 23 °C. Finalmente, se agregaron 200 μ L de NaOH (4 %) y se agitó. La absorbancia se midió a 510 nm. Los resultados obtenidos se expresaron en mg equivalentes de quercetina (mg EQ/100 g.p.f.).

Vitamina C. Se evaluó por la metodología de Dürüst *et al.* (1997). Se prepararon las siguientes soluciones: DCPI (2,6 diclorofenolindofenol sal disódica) a 24 mg/L en agua desionizada; amortiguador de acetatos compuesto por tres gramos de acetato de sodio anhidro, 7 mL de agua desionizada y 10 mL de ácido acético glacial. Se añadieron 50 µL en viales eppendorf de cada una de las muestras más 50 µL de amortiguador de acetatos y 400 µL de DCPI. La absorbancia se determinó a 520 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS, Biotek). Los resultados se expresaron en mg equivalente de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.p.f.).

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante un ANOVA y las medias por prueba de Tukey con un nivel de significancia $P \leq 0.05$ utilizando el software Statistical Analysis System (SAS® V. 9.2) (Castillo 2011).

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1 Pérdida de peso

Los frutos de guanábana almacenados a 22 °C presentaron una pérdida de masa diaria de 3.9 % (T1) y 4.2 % (T2). La pérdida de masa acumulada en la madurez de consumo fue entre 11.8 % (T1) y 12.8 % (T2), sin presentar diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos (Figura 1 A). Valero y Serrano (2010) indican que la pérdida de peso de frutos en poscosecha se debe a los procesos de transpiración y respiración. Saucedo *et al.* (2009) reportaron que los recubrimientos intervienen en la disminución de la pérdida de agua de los frutos, no obstante, en la presente investigación el recubrimiento aplicado no influyó positivamente en disminuir de la pérdida de agua. Jiménez-Zurita *et al.* (2017) reportaron pérdida de masa diaria entre 1.34 y 1.41% en frutos de guanábana almacenados a 22 °C, presentando pérdidas de masa acumulada de 6.7 y 7.1 %. Castillo-Ánimas *et al.* (2005) aplicaron cera de candelilla en frutos de guanábana almacenados a 20-22 °C y reportaron pérdidas de masa acumulada de 3.9 %.

Con respecto a los frutos almacenados a 15 °C por cuatro días presentaron una pérdida de masa diaria de 2.4 % (T3) y 2.85 % (T4) y una pérdida de masa acumulada de 9.89 y 11.43 % al final del almacenamiento, respectivamente (Figura 1 A). Cabe mencionar que los frutos del T4 tuvieron una vida de anaquel de ocho días, sin presentar diferencias significativas con los frutos del T3 almacenados en las mismas condiciones ($P \geq 0.05$). Los frutos recubiertos almacenados en refrigeración, presentaron menor porcentaje de pérdida de masa. Salinas-Salazar *et al.* (2015) reportaron que la disminución en la tasa de respiración y pérdida de agua puede atribuirse a la temperatura de almacenamiento y al uso de recubrimientos comestibles en poscosecha. Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a lo reportado por Tovar-Gómez *et al.* (2011), quienes reportaron pérdidas entre 2.56 y 2.46 % en frutos de guanábana recubiertos con emulsiones de cera y 1-metilciclopropeno en frutos de guanábana almacenados en condiciones similares a las utilizadas en la presente investigación. Jiménez-Zurita *et al.* (2017) reportaron pérdidas de peso acumulada entre 2.3 y 2.7 % en frutos almacenados a 15 °C sin recubrimiento por cuatro días y transferidos a 22 °C. Castillo-Ánimas *et al.* (2005) también reportaron pérdidas del 5 % en frutos almacenados a 12-14 °C sin recubrimiento.

3.4.2 Firmeza

La firmeza de los frutos almacenados a 22 °C (T1 y T2) disminuyó gradualmente durante el periodo de almacenamiento, presentando al inicio de la cosecha valores promedio entre 69.4 N (T1) y 45.6 N (T2). Posteriormente, la firmeza disminuyó a 27.1 N y 22 N, respectivamente a los seis días después (madurez de consumo) (Figura 1 B). Entre los tratamientos se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), donde los frutos del T1 presentaron mayor firmeza durante el almacenamiento (51.7 N). En frutos climatéricos como la guanábana, el ablandamiento los productos hortofrutícolas se debe a la degradación de algunos constituyentes de la pared celular y a la pérdida de interconexión de pectinas y hemicelulosas por efectos de solubilización y despolimerización enzimática (Sothornvit y Rodsamran, 2008; Márquez *et al.*, 2012). Los resultados obtenidos en esta investigación están por arriba (<22 N) a lo reportado por Montalvo-González *et al.* (2014), quienes obtuvieron valores finales de firmeza de 9.41 N en frutos de guanábana almacenados a 25 °C recubiertos con cera de candelilla y cera de abeja. No obstante, se observó similitud con lo obtenido por

Coêlho de Lima *et al.* (2003) cuyos valores de firmeza fueron de 19 N en frutos de guanábana morada sin recubrimiento y almacenados a 23 °C.

La firmeza inicial de los frutos del T3 (49.1 N) y los del T4 (36.1 N) disminuyó durante la madurez de consumo a 24.8 N (T3) y 22.7 N (T4) (Figura 1 B). De acuerdo al análisis estadístico, se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, los frutos T3 presentaron menor pérdida de firmeza atribuible a la temperatura de almacenamiento. Romojado (2016), menciona que los frutos de guanábana a temperaturas de 12 °C presentan una disminución de sus actividades fisiológicas como el ablandamiento. Los resultados obtenidos en esta investigación fueron mayores (<22.7 N) a lo reportado por Márquez *et al.* (2012), indicando que la madurez óptima para el consumo de los frutos de guanábana, es cuando éstos presentan una firmeza de 4.74 N (cinco días) y de 7.5 N (siete días) después de ser cosechados. Ramos-Guerrero *et al.* (2018) aplicaron quitosano (1 %) en frutos de guanábana y reportaron valores de 10.9 N a los 8 días de almacenamiento.

3.4.3 pH

El comportamiento del pH de la pulpa de los frutos de guanábana de los T1 y T2 almacenados a 22 °C disminuyó durante la maduración presentando valores iniciales de 5.7 (T1) y 5.4 (T2) hasta valores de 4.3 y 4.2, respectivamente, no se observaron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre tratamientos. Los resultados obtenidos en la presente investigación están en el rango que establece la norma técnica colombiana para la comercialización (NTCC) en estado de madurez fisiológica o comercial “los frutos de guanábana deben tener el valor mínimo de pH 3.38” (ICONTEC, 2003). Márquez *et al.* (2012) observaron que los frutos de guanábana almacenados a 23 °C, a los nueve días de cosecha, presentaron valores de pH=4. Jiménez-Zurita *et al.* (2016) realizaron una caracterización de frutos de guanábana con pH=3.6, madurez de consumo, almacenados a 26 °C en Tepic, Nayarit. Villalba *et al.* (2006) en una investigación con frutos de guanábana, madurez de consumo, en Colombia reportaron pH=3.04 indicativo de que los frutos de esa región son más ácidos, con respecto a los frutos de la presente investigación, esta característica puede atribuirse a las diferentes regiones geográficas, dependientes de factores como la temperatura, la intensidad luminosa y condiciones edafoclimáticas (Baptista *et al.*, 2010).

Se observó un comportamiento similar en los frutos almacenados a 15 °C y 22 °C, los frutos T3 y T4 registraron valores iniciales de pH=5.7 (T3) y 5.8 (T4), posteriormente estos valores disminuyeron hasta 4.7 y 4.5, respectivamente, en madurez de consumo (Figura 1 C). De acuerdo al análisis estadístico, se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos. Ramírez *et al.* (2012) afirman que la mayoría de los frutos tropicales dentro de las cuáles se encuentra la guanábana, tienen un pH entre 2.6 y 5.8, rango en el cual se encuentran los valores reportados en la presente investigación. Montalvo-González *et al.* (2014) reportaron resultados similares de pH=4.47 en frutos de guanábana almacenados a 16 °C tratados con recubrimientos a base de cera de candelilla y cera de abeja. Tovar-Gómez *et al.* (2011) han reportado investigaciones en frutos de guanábana utilizando emulsiones de cera y 1-metilciclopropeno, almacenados a 13 ± 2 °C, cuyos valores de pH son 4 ± 0.2 , resultados similares a lo obtenido en esta investigación.

3.4.4 Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de SST en los frutos presentó una evolución progresiva durante el almacenamiento, donde se observaron concentraciones de 15.7 °Brix para frutos del T1 y 15.6 °Brix en frutos del T2, a los cuatro días de almacenamiento, estos valores disminuyeron hasta 13.79 y 14.45, respectivamente, al final del almacenamiento (Figura 1 D). No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \geq 0.05$). La NTCC a la letra “los frutos de guanábana deben estar por arriba de los 13 °Brix” es el indicador de madurez utilizado para los frutos de guanábana (ICONTEC, 2003). Montalvo-González *et al.* (2014) reportaron 18.65 °Brix a los 10 días posteriores a la cosecha, empleando combinaciones de 1-Metilciclopropeno y emulsiones de cera en la conservación de guanábana almacenados a 25 °C. Coêlho de lima *et al.* (2003) reportaron resultados finales de SST de 14.4 °Brix en frutos de guanábana, almacenados a 23.4 ± 1.1 °C.

La concentración de SST en los frutos de los T3 y T4, almacenados a 15 °C, fue de 11.8 °Brix (cuatro días de almacenamiento), cuando éstos fueron transferidos a 22 °C presentaron SST=10.75 (T3) y 11.95 °Brix (T4), observándose diferencias significativas entre los tratamientos (Fig. 1 D), éstos resultados coinciden con lo reportado por Márquez *et al.* (2012) en frutos de guanábana, cuyas concentraciones fueron de SST= 12.8 °Brix, a los seis días

después de la cosecha. Yashoda *et al.* (2006) sugieren que los cambios en la concentración de SST para frutos climatéricos se atribuyen a la reducción de azúcares totales, almidón y celulosa durante la maduración, los cuales son convertidos a oligosacáridos y monosacáridos que imparten las características de textura y sabor del fruto. Tovar-Gómez *et al.* (2011) obtuvieron resultados similares a los 12 días de almacenamiento en frutos de guanábana tratados con 1-MCP almacenados a 13 ± 2 °C. En una investigación en frutos de guanábana por Espinosa *et al.* (2013), reportaron que después de ser almacenados a 16 °C durante 10 días, éstos presentaron un aumento en sólidos solubles totales, para lo cual indican que esto puede atribuirse a la hidrólisis de almidón, sacarosa, pectinas, y otros compuestos solubles tales como ácidos orgánicos o aminoácidos. Jiménez-Zurita *et al.* (2017) reportaron concentraciones finales de sólidos solubles totales de 15.90 y 12.5 °Brix en frutos de guanábana almacenados a 15 °C por cuatro días y a 22 °C. La variación en los SST puede atribuirse al tipo de fruto, en el caso de la guanábana pertenece al tipo de los frutos múltiples que deriva de varias flores individuales separadas, cuyos ovarios fecundados se fusionan para formar una sola estructura, lo que cada fruto individual corresponde a una baya (Díaz, 2002; Paull, 1982), durante la polinización del fruto, ésta no se lleva a cabo de manera homogénea, lo que conlleva a que la maduración del mismo no sea uniforme.

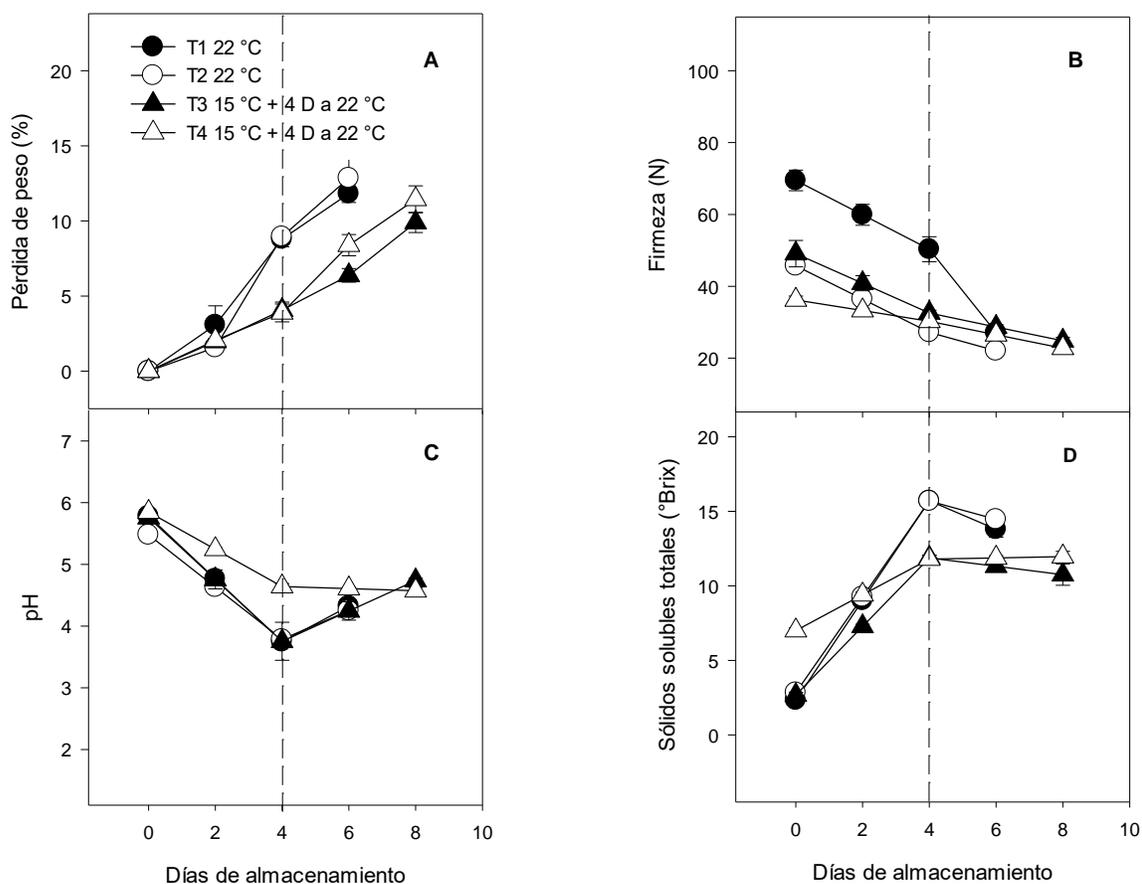


Figura 1. Comportamiento de pérdida de masa (A), firmeza (B), pH (C) y sólidos solubles totales (D) en frutos de guanábana almacenados a 22 °C y 15 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.

3.4.5 Acidez titulable

Los frutos sin y con recubrimiento (T1 y T2) presentaron valores iniciales entre 0.12 y 0.09 % respectivamente, posteriormente la acidez se incrementó en los días posteriores (día 4) a la cosecha, registrando valores de 0.8 (T1) y 1 % (T2) en madurez de consumo (Figura 2 A). Jiménez-Zurita *et al.* (2017) han reportado valores de 0.88 y 0.96% en frutos de guanábana almacenados a 22 °C a los ocho días de almacenamiento, mientras que Do-Sacramento *et al.* (2003) en selecciones de frutos de guanábana (lisa, purpura, común) obtuvieron valores entre 0.92 y 1.0% de acidez titulable cuando los frutos maduran. Tovar-Gómez *et al.* (2011) observaron que la acidez titulable en frutos de guanábana aumenta durante el proceso de maduración. Sin embargo, la acidez titulable disminuye al final del almacenamiento, lo que

indica que los ácidos orgánicos se utilizan como sustrato en el proceso de respiración (Coêlho de Lima *et al.*, 2004), así también, la disminución en el contenido de ácido málico se debe a la actividad de la malato deshidrogenasa, la cual metaboliza este ácido en el ciclo de Krebs (Raven *et al.*, 1999). Paull (1982) observó que, a temperatura ambiente, la disminución en la acidez titulable de la guanábana coincidía con la aparición de olor ligeramente desagradable. Por lo tanto, la disminución puede ser usada como indicativo de senescencia (Coêlho de Lima *et al.*, 2004).

Por otro lado, los frutos sin recubrimiento almacenados a 15 °C y posteriormente transferidos a 22 °C por dos días (T3), presentaron un comportamiento decreciente en esta variable después de ser transferidos a 22 °C, ya que, el porcentaje de acidez al finalizar el almacenamiento a 15 °C fue de 0.5%, posteriormente estos valores disminuyeron hasta 0.42%, mientras que los frutos con recubrimiento (T4) presentaron un incremento, después de ser transferidos a 22 °C, observándose un incremento de 0.45 hasta 0.53 % (Figura 2 A). El análisis estadístico detectó diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$) (Figura 2 A). Los valores obtenidos en los frutos almacenados a 15 ° fueron menores a los valores de 0.92-1.00 en frutos de guanábana de Brasil (Do-Sacramento *et al.*, 2003) pero similares a los reportados por Márquez *et al.* (2012) para guanábanas de Colombia. De acuerdo a la NTCC “se establece que el porcentaje mínimo de acidez en la pulpa para frutos de guanábana es de 0.7 % expresado en ácido málico”, el incremento de la acidez está dado por la síntesis de ácidos orgánicos, de los cuales predominan el ácido cítrico y málico (Etienne *et al.* 2013). Coêlho de Lima *et al.* (2004) obtuvieron valores de 0.71 % de acidez titulable a los 15 días de almacenamiento en frutos de guanábana recubiertas con 1-MCP almacenados a 15 °C. Mosca *et al.* (1999) indican que, durante la maduración, la acidez titulable del fruto de guanábana aumenta de 0.067 a 0.67% de ácido málico mientras que ésta se mantiene en 0.67% después de 10 días a 16 ° C.

3.4.6 Color (LCh)

Los frutos almacenados a 22 °C (T1 y T2) inicialmente presentaron valores promedio de luminosidad (L) de 44.2 y 44, respectivamente, por otro lado, se pudo observar una disminución de la luminosidad una vez que los frutos alcanzaron a la madurez de consumo

40.5 (T1) y 41.2 (T2) (Figura 2 B). El comportamiento de la cromaticidad (C) de los frutos almacenados a 22 °C de los T1 y T2 disminuyó durante el almacenamiento, presentando valores iniciales promedio de 16.3 hasta 9.2 (Figura 2 C). El ángulo hue (°h) que presentaron los frutos en madurez fisiológica almacenados a 22 °C de los T1 y T2 fue de 109.5 en promedio, posteriormente este valor disminuyó a 80.49 (Figura 2 D). Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$), de los cuales los frutos del T1 presentaron los parámetros más altos de color (L=41.7 C=14.1 H=98.75). Prieto *et al.* (2007) reportaron que los cambios de color en la cáscara de *Annona cherimola* M. se deben a la oxidación enzimática irreversible causada por las enzimas polifenol oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD), así mismo, el oscurecimiento de la cáscara puede atribuirse a la acción de polifenoloxidasas sobre compuestos fenólicos que se encuentran presentes en el fruto (Lima de Oliveira *et al.*, 1994). Balois-Morales *et al.* (2019) observaron un incremento en la actividad de la peroxidasa (POD) y reportaron 83.26 U mg⁻¹ de proteína en frutos de guanábana después de seis días de almacenamiento a 22 °C. Coêlho de Lima *et al.* (2003) reportaron valores de L=50, hue=118 y C=24 en frutos de guanábana sin recubrimiento almacenados a 23 °C.

Frutos almacenados a 15 °C por cuatro días y posteriormente transferidos a 22 °C de los T3 y T4 registraron valores iniciales promedio de L=105 y 113.7, respectivamente (Figura 2 B). La cromaticidad de los frutos de los T3 y T4, trasferidos a 22 °C, disminuyó durante el almacenamiento, registrando valores iniciales de 17 (T3) y 13.2 (T4), posteriormente estos valores alcanzaron 11.3 y 5.9 en madurez de consumo, respectivamente, (Figura 2 C). Los valores de hue que presentaron los frutos de los T3 y T4 después de ser transferidos a 22 °C fue de 105.2 en promedio, este valor disminuyó a 81.4 (T3) y 78.51 (T4) en la madurez de consumo (Figura 2 D). Los frutos almacenados a 22 y 15 °C presentaron valores similares en el color, indicando que los frutos presentaron un color verde opaco con baja luminosidad. De acuerdo con el análisis estadístico se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, de los cuales los frutos sin recubrimiento presentaron mayor luminosidad (L=44.4) y cromaticidad (C=15.8), no obstante, el ángulo hue fue superior en los frutos con recubrimiento (hue=102.7). El color verde brillante de los frutos de guanábana disminuyó durante la maduración hasta un verde opaco con bajo índice de luminosidad debido al

oscurecimiento de la epidermis indicando el inicio de la senescencia. Los cambios de color durante la maduración en la mayoría de los frutos son principalmente el resultado de la degradación de la clorofila y la síntesis de pigmentos, tales como los carotenoides y las antocianinas (Brownleader *et al.*, 1999). Sin embargo, la aplicación de recubrimientos comestibles a base de polisacáridos disminuye las actividades metabólicas como el pardeamiento enzimático ayudando a mantener el color de los frutos (Dussán-Sarria *et al.*, 2014). Tovar-Gómez *et al.* (2011) reportaron valores de luminosidad de 43 y 45 en frutos de guanábana recubiertos con emulsiones de cera y 1-MCP almacenados a 13 ± 2 °C observando a partir del día 10 un oscurecimiento en la cáscara que ocasionó un decremento en los valores de luminosidad (43.5). Coêlho de Lima *et al.* (2004) utilizaron 1-MCP como recubrimiento en frutos de guanábana almacenados a 15 °C e informó valores finales de 40 para luminosidad, 21 para cromaticidad y 130 para °hue a los 15 días de almacenamiento.

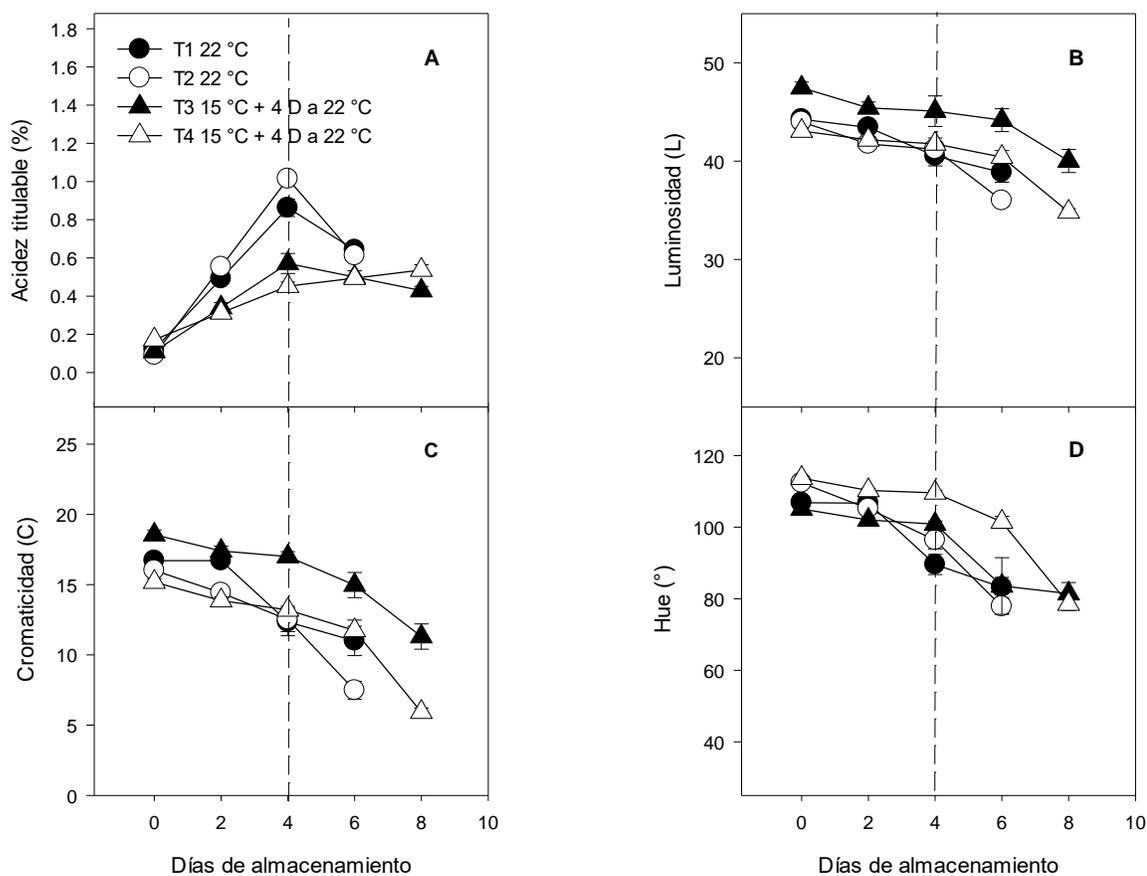


Figura 2. Comportamiento de acidez titulable (A), Luminosidad (B), Cromaticidad (C) y °Hue (D) en frutos de guanábana almacenados a 22 °C y 15 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.

3.4.7 Contenido de fenoles totales (CFT)

Los frutos sin y con recubrimiento almacenados a 22 °C (T1 y T2) presentaron valores iniciales de fenoles de 66.9 y 35.3 mg EAG/100 g.p.f respectivamente. Cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo la concentración de fenoles se incrementó a 107.5 y 67.4 mg EAG/100 g.p.f., respectivamente (Figura 3 A). Se observaron diferencias estadísticas en los tratamientos evaluados ($P \leq 0.05$) donde los frutos del T1 presentaron el mayor contenido de fenoles totales (79 mg EAG/100 g.p.f.) durante el almacenamiento. Los compuestos fenólicos están asociados con la AOX por su capacidad de eliminar los radicales libres, catalizar los metales quelatos y activar enzimas antioxidantes (Amic *et al.*, 2003). Su potente AOX se debe a las propiedades redox de sus grupos hidroxilo unidos a la estructura química

de los compuestos fenólicos (Materska *et al.*, 2005). Investigación realizada por Jiménez-Zurita *et al.* (2017), en frutos de guanábana almacenados a 22 °C, reportaron 74.20 mg EAG/100 g.p.f, cuyos valores son similares a los encontrados en la presente investigación. Silva y Sirasa (2018), reportaron 86.5 mg EAG / 100 g.p.f en frutos de *Annona muricata* L. y 199.1 mg EAG / 100 g.p.f en pulpa de frutos de *Annona reticulata* L. procedentes de Sri Lanka. También Beserra *et al.* (2011) reportaron contenido de fenoles totales de 54.8 mg EAG / 100 g.p.f en frutos de guanábana de Brazil.

Con respecto a los frutos almacenados a 15 °C por cuatro días y transferidos a 22 °C (T3 y T4), se observó una disminución en los fenoles totales durante el almacenamiento. Los frutos del T3 presentaron un contenido de fenoles de 139.6 mg EAG/100 g.p.f, mientras que los frutos del T4 sus valores fueron de 42.94. mg EAG/100 g.p.f., cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo, el contenido de fenoles totales fue de 99.75 mg EAG/100 g.p.f (T3) y 74 (T4). Estadísticamente ($P \leq 0.05$), se observó diferencia entre los tratamientos (Figura 3 A), los frutos del T3 presentaron el mayor contenido de fenoles totales (68.1 mg EAG/100 g.p.f.). Lima de Oliveira *et al.* (1994) indican que la disminución en la concentración de los fenoles podría estar influenciada por la oxidación de estos compuestos y por la actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO). Jiménez-Zurita *et al.* (2017) en frutos de dos selecciones de guanábana procedentes de Tepic, han reportado valores de 58.49 y 44.94 (EAG/100 g.p.f.) de fenoles totales, mientras que Hassimotto *et al.* (2005) reportaron valores similares a esta investigación (120.0 mg de GAE / 100 g.p.f.). Balois-Morales *et al.* (2019) reportaron que la actividad enzimática de la peroxidasa (POD) en frutos de guanábana incrementa después del almacenamiento a 15 °C e indicaron que el aumento en la POD podría estar relacionada con el estrés causado por las bajas temperaturas.

3.4.8 DPPH

Los frutos sin recubrimiento almacenados a 22 °C (T1) presentaron una disminución en la AOX con valores iniciales de 272.5 hasta 256.2 (mg EAA/100 g.p.f.), mientras que los frutos con recubrimiento (T2) almacenados en las mismas condiciones un incrementaron su AOX, registrando valores iniciales de 181.6 hasta 234.8 (mg EAA/100 g.p.f.). La AOX, entre tratamientos, presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Figura 3 B), donde los frutos del

T1 presentaron mayor AOX durante el almacenamiento (257.4 mg EAG/100 g.p.f.). Ningsih *et al.* (2016) indican que la capacidad de eliminación de radicales de las muestras de fruto de guanábana podría deberse al efecto sinérgico que poseen varios fitoquímicos presentes en los extractos fenólico total. Los frutos almacenados a 22 °C presentaron mayor AOX, lo que podría estar relacionado con el alto contenido de fenoles encontrado. Se ha reportado menor AOX (16.94 mg / 100 g.p.f.) en frutos de guanábana provenientes de Brazil (Beserra *et al.*, 2011). Chavan *et al.* (2012) sugieren que las diferencias de las actividades antioxidantes pueden explicarse por la variación en las polaridades de los disolventes utilizados, así como las condiciones de clima y suelo.

Los frutos sin recubrimiento almacenados a 15 °C por cuatro días y posteriormente transferidos a 22 °C (T3) mostraron una disminución en la actividad presentando valores iniciales de 290.9 hasta 255.7 (mg EAA/100 g.p.f.) al final del almacenamiento, mientras que los frutos del T4 almacenados en las mismas condiciones mostraron un aumento en la AOX con valores iniciales de 212.2 mg EAA/100 g.p.f, posteriormente estos valores incrementaron hasta 276.9 mg EAA/100 g.p.f. respectivamente. Los frutos de T4 presentaron la mayor AOX durante el almacenamiento (257.9 mg EAG/100 g.p.f.,) sin presentar diferencias significativas entre los tratamientos ($P \geq 0.05$) (Figura 3 B). Oms-Oliu *et al.* (2008), reportaron que los recubrimientos comestibles forman una atmósfera modificada y que estas tienen influencia sobre la AOX en el fruto debido a que estas influyen en una mayor producción de fenoles. Posteriormente, Akomolafe y Ajayi (2015) indicaron que el fuerte efecto inhibitorio sobre el radical DPPH de la guanábana podría estar vinculado a compuestos polifenólicos que son capaces de donar electrones para neutralizar los radicales libres. Los resultados obtenidos en la presente investigación son mayores a lo reportado por Oboh *et al.* 2015, cuyos valores fueron de 102.86 ± 0.215 ($\mu\text{g} / \text{mL}$) de inhibición del radical DPPH en frutos de guanábana en Nigeria. Un estudio realizado en Sri Lanka, reportó 27.37 y 3.43 mg EAA/100 g.p.f. en pulpa de frutos de *Annona squamosa* y *A. reticulata* almacenados previamente a -80 °C (Silva y Sirasa, 2018), lo cual indica que los frutos de guanábana del estado de Nayarit tienen mayor actividad antioxidante y podría atribuirse a al perfil genético y a los factores ambientales (Carvajal *et al.*, 2012).

3.4.9 ABTS

La AOX de los frutos de los T1 y T2 almacenados a 22 °C se incrementó durante el almacenamiento, presentando valores iniciales de 72.5 y 36.6 mg EAA/100 g.p.f. respectivamente, posteriormente esta actividad aumentó 120.1 (T1) y 72.6 (T2) mg EAA/100 g.p.f. a los seis días de su almacenamiento. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 3 C), observándose una AOX mayor en los frutos del T1 (75.4 mg EAG/100 g.p.f.). La AOX ha sido evaluada mediante el método ABTS en pulpa fresca y congelada, los resultados sugieren que los compuestos antioxidantes de *Annona muricata* L. son principalmente lipofílicos, y el mecanismo de acción es mediante la donación de hidrógeno (Correa-Gordillo *et al.*, 2012). Los resultados obtenidos son similares a lo reportado por Beserra *et al.* (2011), quienes observaron una AOX de 91.29 y 93.16 mg EAA / 100 g.p.f. en frutos de *Annona muricata* L. y *Annona squamosa* L.

Los frutos sin recubrimiento almacenados a 15 °C (T3) registraron una disminución en la AOX, reportando valores iniciales de 113.1 hasta 111.8 (mg EAA/100 g.p.f.) al final del almacenamiento. No obstante, los frutos del T4 almacenados en las mismas condiciones registraron un aumento en la AOX con valores iniciales de 37.1 hasta 98.2 (mg EAA/100 g.p.f.), respectivamente, al día ocho de su almacenamiento (Figura 3 C). Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, los frutos del T3 almacenados a 15 °C presentaron la mayor AOX (93.9 mg EAG/100 g.p.f.) (Figura 3 C). Kuskoski *et al.* (2005) investigaron la AOX en pulpa de frutos de guanábana y reportaron 76.8 mg AA/100 g.p.s. Singh *et al.* (2012) han reportado que la diferencia de la AOX está influenciada por el genotipo, el estado de madurez del fruto, así como los factores edáficos.

3.4.10 FRAP

Los frutos sin y con recubrimiento almacenados a 22 °C (T1 y T2) presentaron valores iniciales de 10.5 y 9.9 (mg EAA/100 g.p.f), respectivamente, posteriormente esta actividad se incrementó hasta valores de 17.1(T1) y 10.5 (T2) mg EAA/100 g.p.f. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos (Figura 3 D), donde los frutos del T1 presentaron mayor capacidad reductora (11.7 mg EAG/100 g.p.f.). Akomolafe y Ajayi (2015), reportaron que la pulpa de guanábana posee moléculas donantes de electrones que

pueden reaccionar con radicales libres para convertirlos en productos estables, así mismo, reportaron una capacidad reductora de 1.54 mmol. EAA/g.p.f., indicando una menor AOX en comparación con esta investigación. Sanchez-González *et al.* (2019) observaron que la AOX depende del tipo de solvente, el tiempo y la temperatura de extracción.

El comportamiento de los frutos almacenados a 15 °C (T3 y T4) registraron un aumento de 12.35 hasta 16.6 (T3) y de 10.26 hasta 13.29 (T4) mg EAA/100 g.p.f., en dicha actividad (Figura 1 D). Se observó diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$), los frutos del T3 presentaron mayor actividad reductora (13.2 mg EAG/100 g.p.f.). Los resultados obtenidos en la presente investigación son menores a lo reportado por Chukwunonso-Agu *et al.* (2018), quienes encontraron 34.2 mg EAA / 100 g.p.s en pulpa almacenada a 4 °C.

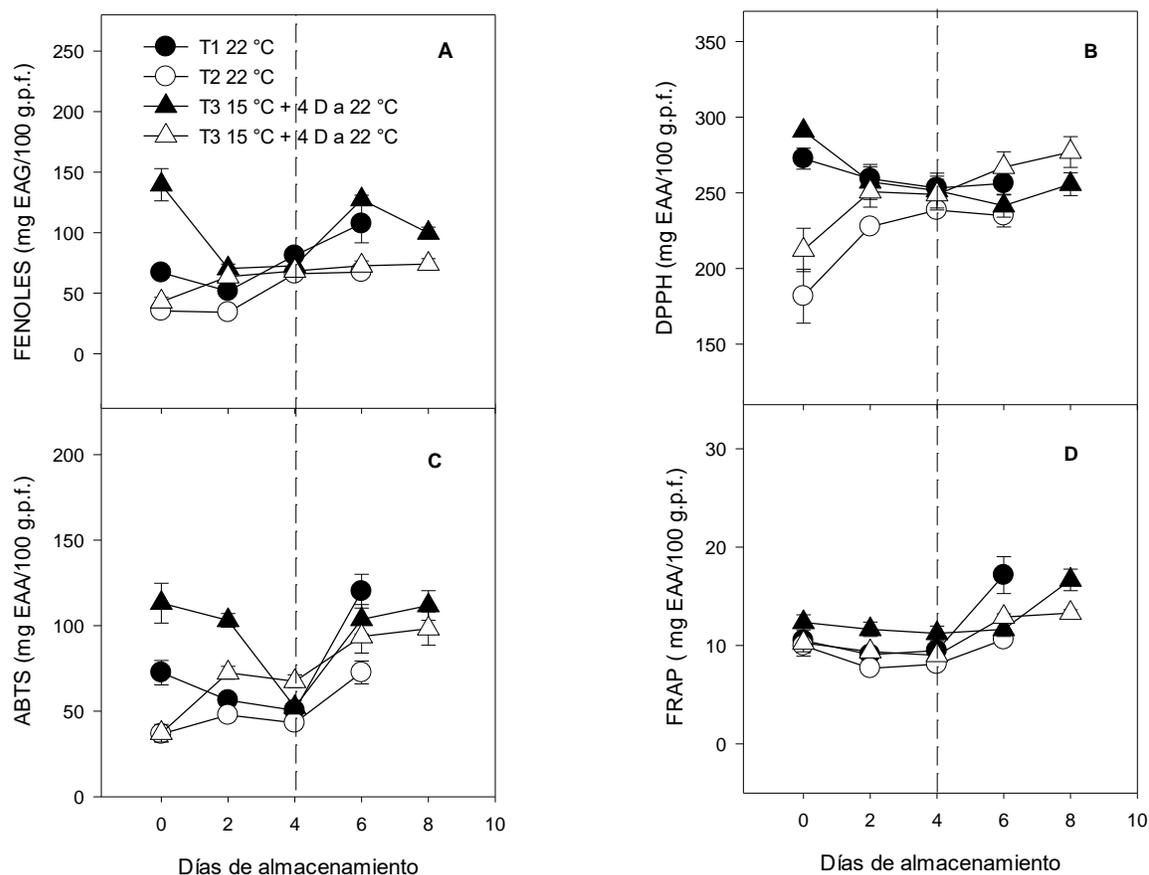


Figura 3. Contenido de fenoles totales (A) y AOX (ABTS, DPPH Y FRAP) (B, C y D) en frutos de guanábana a 22 y 15 °C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.

3.4.11 Flavonoides

Los frutos sin y con recubrimiento almacenados a 22 °C (T1 y T2) mostraron concentraciones iniciales de flavonoides de 35.6 y 34.7 (mg EQ/100 g.p.f.), después se observó un incremento al día seis 50.8 (T1) y 50.3 (T2) mg EQ/100 g.p.f. Los tratamientos no presentaron diferencias significativas ($P \geq 0.05$), no obstante, se observó mayor concentración en los frutos del T1 (52.5 mg EQ/100 g.p.f.) durante el almacenamiento (Figura 4 A). El metanol puede extraer la mayoría de los compuestos polares que se asocian con las propiedades antioxidantes (Do *et al.*, 2014). Entre estos compuestos, se informa que la saponina, el tanino, los polifenoles y los flavonoides son responsables de los efectos de captación de radicales libres (Złotek *et al.*, 2016).

Los frutos sin y con recubrimientos almacenados a 15 °C (T3 y T4) registraron concentraciones al cuarto día de 62.7 y 54.3 mg EQ/100 g.p.f., respectivamente, posteriormente, al día ocho de almacenamiento, la concentración disminuyó a 58.7 mg EQ/100 g.p.f. (T3), mientras en T4 no hubo cambios (Figura 4 A). En general, se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, donde los frutos sin recubrimiento presentaron mayor contenido de flavonoides en el almacenamiento (58.6 mg EQ/100 g.p.f.). Los flavonoides son el principal grupo de compuestos fenólicos que proporciona propiedades antioxidantes en extractos vegetales, a través de una actividad antirradical, que es conferido por los grupos fenólicos OH, y los dobles enlaces presente en su estructura química fundamental (Agati *et al.*, 2012). Investigación reportada por Silva y Sirasa *et al.* (2018) obteniendo valores de 34.4 y 66.5 (mg EQ/100 g.p.f) en frutos de *Annona muricata* L. y *Annona reticulata* L. provenientes de Sri Lanka. La variabilidad en flavonoides puede atribuirse al cultivar, espacio geográfico del cultivo, prácticas agrícolas, cosecha y almacenamiento, condiciones y métodos de procesamiento y preparación, tal como lo reporta (Haytowitz *et al.*, 2013).

3.4.12 Vitamina C

La vitamina C es un enantiómero del ácido L-ascórbico, éste es reconocido como un importante compuesto antioxidante de origen natural (Contreras *et al.*, 2014; Gallie, 2013). En esta investigación, la concentración de la vitamina C en los frutos almacenados a 22 °C

(T1) durante el almacenamiento no presentó cambios significativos (14.7 -14.5 mg EAA/100 g.p.f.) desde el inicio al final del almacenamiento, respectivamente. Los frutos con recubrimiento (T2) registraron valores iniciales de vitamina C de 18.6 mg EAA/100 g.p.f., disminuyendo al sexto día del almacenamiento (16.36 mg EAA/100 g.p.f.). El análisis estadístico arrojó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 4 B), observando que los frutos T2 presentaron mayor concentración de vitamina C en el almacenamiento (20.53 mg EAG/100 g.p.f.). Investigaciones realizadas, en frutos de guanábana, por Agatha *et al.* (2012) reportan valores de vitamina C de 22.59 (mg EAA / 100 g.p.f), resultados similares a lo encontrado en esta investigación, también Singh *et al.* (2014) realizaron un estudio en frutos de guanábana en las islas Andamán y reportaron concentraciones mayores (48 mg EAA/100 g.p.f.) a lo obtenido en esta investigación.

Los frutos almacenados a 15 °C sin recubrimiento (T3) presentaron valores de 14.97 mg EAA/100 g.p.f. al cuarto día de almacenamiento, sin embargo, a los ocho días de almacenamiento la concentración disminuyó hasta 13.92 (mg EAA/100 g.p.f.). Para los frutos del T4 registraron 13.25 mg EAA/100 g.p.f. de vitamina C, al día cuatro de almacenamiento, posteriormente la concentración aumentó a 17.12 mg EAA/100 g.p.f. al día ocho de almacenamiento. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 4 B), la mayor concentración de vitamina C fue en los frutos del T4 (17.5 mg EAG/100 g.p.f.). Los resultados obtenidos en esta investigación están por arriba (<17.12) de lo reportado por Silva y Sirasa (2016) cuyos valores son de 12.6 mg EAA / 100 g.p.f. en pulpa de guanábana congelada. La diferencia entre los valores de vitamina C pueden estar asociadas con factores tales, como la temperatura de almacenamiento, etapa de maduración del fruto, las condiciones de manejo agronómico, el clima, entre otros (Ferreira *et al.*, 2018).

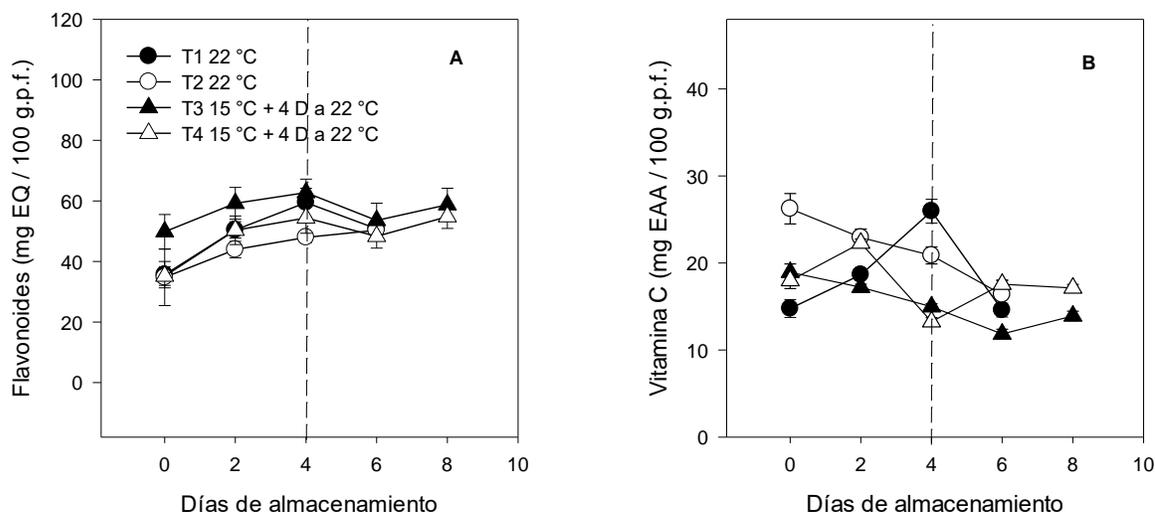


Figura 4. Contenido de flavonoides (A) y vitamina C (B) en frutos de guanábana a 22 y 15 °C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar. La línea punteada indica el final del almacenamiento en refrigeración.

3.5 CONCLUSIONES

Los frutos de guanábana recubiertos con mucílago de jamaica al 2 %, almacenado a 15 °C, presentaron menor pérdida de peso y baja acidez titulable, alto contenido de fenoles, incremento de vitamina C, la actividad antioxidante se incrementó durante la madurez de consumo. El color verde de la cáscara de los frutos de guanábana no se vio afectado por el recubrimiento. A estas mismas condiciones de almacenamiento los frutos tuvieron una vida de anaquel de hasta ocho días.

3.6 LITERATURA CITADA

Agatha-Uchenna, O., Vivienne Nkiruka., I., Paul Eze, E., y Madubike, K. 2012. Nutrient, phytochemical composition and sensory evaluation of soursop (*Annona muricata* L.) pulp and drink in south eastern Nigeria. *International Journal of Basic y Applied Sciences*, 12(6): 53-57.

Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S., y Tattini, M. 2012. Flavonoids as antioxidants in plants: Location and functional significance. *Plant Science*, 196: 67-76.

Akomolafe, S.F., y Ajayi, O. B. 2015. A comparative study on antioxidant properties, proximate and mineral. Compositions of the peel and pulp of ripe *Annona muricata* L. fruit. *International Food Research Journal*, 22: 2381-2388.

- Amic, D., Davidovic-Amic, D., Beslo, D., y Trinajstic, N. 2003.** Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croatia Chemica Acta*, 76(1): 55-61.
- AOAC Official Method 942.15. 2005.** Acidity (titrable) of fruit products. Official method of Analysis of AOAC International. 18(37): 10.
- Balois-Morales, R., Jiménez-Zurita, J. O., Alia-Tejacal, I., López-Guzmán, G. G., Palomino-Hermosillo, Y. A., y Sánchez-Herrera, L. M. 2019.** Antioxidant enzymes and antioxidant activity in two soursop selections (*Annona muricata* L.) from Nayarit, Mexico stored at 15 °C. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(1): e-083.
- Baptista-Canuto, G. A., Odorissi-Xavier, A. A., Camargo-Neves, L., y De Toledo-Benassi, M. 2010.** Caracterização físico-química de polpas de frutos da amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical libre. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP*, 32(4): 1196-1205.
- Benzie, I. F. F., y Strain J. J. 1996.** The ferric reducing ability of plasma (frap) as a measure of antioxidant power: the frap assay. *Analytical Biochemistry*, 239: 70-76.
- Berumen-Varela G., Hernández-Oñate M. A., y Tiznado-Hernández M. E. 2019.** Utilization of biotechnological tools in soursop (*Annona muricata* L.). *Scientia Horticulturae*, 245: 269-273.
- Beserra-Almeida, M. M., Machado de Sousa, P. H., Campos Arriaga, G. M. P., De Carvalho Magalhães, C. E., Arraes Maia, G., y Gomes de Lemos, T. L. 2011.** Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44: 2155-2159.
- Brownleader, M.D., Jackson, P., Mobasheri, A., Pantelides, A. T., Sumar, S., Trevan, M. y Dey, P. M. 1999.** Molecular Aspects of Cell Wall Modifications during Fruit Ripening. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39(2):149-164
- Carvajal de Pabón, L. M., Yahia, H., Cartagena, R., Peláez, C., Gaviria, C., y Rojano, B. 2012.** Capacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria* x *ananassa* (Weston) Duchesne (fresa) sometidas a variaciones en la nutrición vegetal. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(1): 37-53.
- Castañeda, R., y Cáceres, A. 2014.** Compuestos bioactivos y propiedades terapéuticas de los cálices de rosa de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Facultad de ciencias químicas y farmacia*, 24(1): 7-24.

- Castillo L. E. M. 2011.** Introducción al SAS para Windows, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Castillo-Ánimas, D., Varela-Hernández, G., Pérez-Salvador, B. R., y Pelayo-Zaldívar, C. 2005.** Daños por frío en guanábana. Índice de corte y tratamientos postcosecha. Revista Chapingo Serie Horticultura, 11: 51-57.
- Castro García, M., García, M. R. C., Posligua, V. G. E., Mantuano, M. H. L., Basurto, R. M., Montes, Y. M. G., y Delgado, E. G. L. 2017.** Recubrimiento comestible de quitosano, almidón de yuca y aceite esencial de canela para conservar pera (*Pyrus communis* L. cv. “Bosc”). La Técnica, 2(Edición Especial 2017): 42-53.
- Chavan, J. J., Jagtap, U. B., Gaikwad, N. B., Dixit, G. B., y Bapat, V. A. 2012.** Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of Saptarangi (*Salacia chinensis* L.) fruit pulp. Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology, 22(4): 409-413.
- Chukwunonso-Agu, K., Paulinus-Okolie, N., Falodun, A., y Engel-Lutz., N. 2018.** In vitro anticancer assessments of *Annona muricata* L fractions and in vitro antioxidant profile of fractions and isolated acetogenin (15-acetyl guanacone). Journal of Cancer Research and Practice, 5(2): 53-66.
- Coelho de lima, M., Elesbão, R., Almeida, Cunha, H., Enéas, J., y Gurgel, J. 2004.** Uso de cera e 1-metilciclopropeno na conservação refrigerada de Graviola (*Annona muricata* L.). Revista Brasileira de Fruticultura, 26(3): 433-437.
- Coelho de lima, M., Elesbão, R., Almeida, H., y Enéas, J. 2003.** Comportamento respiratório e qualidade pós-colheita de graviola (*Annona muricata* L.) ‘morada’ sob temperatura ambiente. Revista Brasileira de Fruticultura, 25(1): 49-52.
- Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L. Guerra-Hernández, Y., y García-Villanova, B. 2014.** Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. Food Research International, 44(7): 2047-2053.
- Correa-Gordillo, J., Ortiz, D., Larrahondo, J., Sánchez-Mejía, M., y Pachón, H. 2012.** Actividad antioxidante en guanábana (*Annona muricata* L.): una revisión bibliográfica. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 11: 111-126.
- De la Vega, J. C., Cañarejo, M. A., y Pinto, N. 2017.** Avances en tecnología de atmósferas controladas y sus aplicaciones en la industria. Una Revisión. Información Tecnológica, 28(3): 75-86.

- Del Valle, V., Hernández-Muños, P., Guarda, A., y Galotto, M. 2005.** Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus-indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91: 751-756.
- Díaz-Montenegro, D. H. 2002.** Morfología y clasificación de flores y frutos. *Fisiología de árboles frutales* (p. 211-229). Mexico: AGT
- Do, Q. D., Angkawijaya, A. E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H. Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., y Ju, Y. 2014.** Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(3): 296-302.
- Do-Sacramento, C. K., Faria, J. C., Lopes-Da Cruz, F., De Sousa-Barretto, W., Walter-Gaspar, J., y Vieira Leite, J. B. 2003.** Caracterização física e química de frutos de três tipos de graviroleira (*Annona muricata* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 25(29): 329-331.
- Dürüst, N., Sümengen, D., y Dürüst, Y. 1997.** ascorbic acid and element contents of foods of trabzon (Turkey). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 2085-2087.
- Espinosa, Y., Ortiz R., Tovar B., Mata, M., y Montalvo E. 2013.** Physiological and physicochemical behavior of soursop fruits refrigerated with 1-methylcyclopropene. *Journal of Food Quality*, 36(1): 10-20.
- Etienne, A., Génard, M., Lobit, P., Mbéguié-A-Mbéguié, A., y Bugaud C. 2013.** What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*, 64(6): 1451-1469.
- Ferreira-Batista, P., Coêlho de Lima, M. A., Elesbão-Alves, R., y Vieira-Façanha, R. 2018.** Bioactive compounds and antioxidant activity in tropical fruits grown in the lower-middle São Francisco Valley. *Revista Ciência Agronômica*, 49(4): 616-623.
- Fuenmayor, M., Ettiene, G., Pérez, E., y Raga, J. 2016.** Efecto de la forma de propagación y la frecuencia de fertilización nitrogenada sobre la actividad antioxidante en frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, (LUZ): 137-161.
- Gallie, D. R. 2013.** L-ascorbic acid: a multifunctional molecule supporting plant growth and development. *Scientífica*. 2013: 1-24.

- Hassimotto, N. M., Genovese, M. L. y Lajolo, F. M. 2005.** Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8). 2928-2935.
- Haytowitz, D. B., Bhagwat, S., y Holden, J. M. (2013).** Sources of variability in the flavonoid content of foods. *Procedia Food Science*, 2: 46-51.
- ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2003.** Frutas frescas. Guanábana. Especificaciones (norma técnica colombiana No. 5208) (pp. 3–7). Colombia - Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, O., Alia-Tejacal, I., Juárez-López, P., Sumaya-Martinez, M. T. y Bello-Lara J. E. 2016.** Caracterización de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6): 1261-1270.
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, O., Alia-Tejacal, I., Sánchez Herrera, L. M., Jiménez-Ruiz, E. I., Bello-Lara, J. E., García-Paredes, J. D., y Juárez-López, P. 2017.** Cold storage of two selections of soursop (*Annona muricata* L.) in Nayarit, Mexico. *Journal of Food Quality*. 2017: 1-9.
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., y Fett, R. 2005.** Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(4): 726-732.
- Lima de Oliveira, S., Barbosa, G. N., Sucupira, M. I., y Souza, L. A. 1994.** Polyphenoloxidase activity, polyphenols concentration and browning intensity during soursop (*Annona muricata* L.) maturation. *Journal of Food Science*, 59(5): 1050-1052.
- López-Velasco, A., De La Cruz-Medina, J., León-García, E., García-Galindo, H., y Vázquez-Hernández, M. 2018.** Aplicación de tratamientos hidrotérmico, fungicida y cera sobre el oscurecimiento superficial en guanábana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5): 1075-1081.
- Márquez, C., Villacorta, V., Yepes, D., Ciro, H., y Cartagena, J. 2012.** Physiological and physico chemical characterization of the soursop fruit (*Annona muricata* L. cv. Elita). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 65(1): 6477-6486.

- Materska, M., y Perucka, I. 2005.** Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L). Journal of agricultural and food chemistry, 53(5): 1750-1756.
- Minh, N. P., Vo, T. S., Tram, D. N., Nga, N. H., Bang, N. T., Thi, M., y Trinh, D. 2019.** Application of chitosan edible coating for soursop (*Annona muricata* L) Storage. Journal of Pharmaceutical Sciences, 11(2): 284-288.
- Montalvo-González E., León-Fernández A., Rea-Paez, H., Mata-Montes de Oca, M., y Tovar-Gómez B. 2014.** Uso combinado de 1-meticiclopropeno e emulsões de cera na conservação da graviola (*Annona muricata* L.). Revista Brasileira de Fruticultura, 36(Nº Especial), 296-304.
- Morales, F. J., y Jiménez P. S. 2001.** Free radical scavenging capacity of maillard reaction products as related to colour and fluorescence. Food Chemistry, 72: 119-125.
- Mosca, J. L., Alves, R. E., y Filgueiras A. 1999.** Harvest and postharvest handling of sugar-apple and soursop: current research status in brazil and review of recommended techniques. Acta Horticulturae, 485: 273-280.
- Ningsih, D. R., Zufahair, Z., y Kartika D. 2016.** Identificación de compuestos de metabolitos secundarios y actividades antibacterianas en el extracto de hoja de guanábana. Molekul, 11: 101-109.
- Nogueira, G. F., Soares, C. T., Cavasini, R., Fakhouri, F. M., y De Oliveira, R. A. 2019.** Bioactive films of arrowroot starch and blackberry pulp: Physical, mechanical and barrier properties and stability to pH and sterilization. Food Chemistry, 275: 417-425.
- Oboh, G., Ademosun, A. O., Akinleye, M., Omojokun, O. S., Boligon, A. A., y Athayde, M. L. 2015.** Starch composition, glycemic indices, phenolic constituents, and antioxidative and antidiabetic properties of some common tropical fruits. Journal of Ethnic Foods, 2: 64-73.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., y Martin-Belloso, O. 2008.** Using polysaccharide-based coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. LWT-Food science and technology, 41: 1862-1870.
- Paull, R. E. 1982.** Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production. Journal of the American Society for Horticultural Science, 107(4): 582-585.

- Pérez, B., Bringas, E., Cruz, L., y Báez, R. 2003.** Aplicación de cera comestible en mango. Parte I: Efecto en las características físico-químicas durante el almacenamiento comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 5(2): 100-112.
- Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Taberner, M., Díaz-Rubio, M. E., Serrano, J., Goñi, I., y Saura-Calixto, F. 2008.** Metodología actualizada para determinar la capacidad antioxidante en alimentos, aceites y bebidas vegetales: extracción, medición y expresión de resultados. *Food Research International*, 41(3): 274-285.
- Prieto, H., Utz, D., Castro, A., Aguirre, C., González-Agüero, M., Valdes, H., ... Campos-Vargas, R. 2007.** Browning in *Annona cherimola* fruit: role of polyphenol oxidase and characterization of a coding sequence of the enzyme. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 9208-9218.
- Ramírez, J., Aristizabal, I., y Restrepo, J. 2013.** Conservación de mora de castilla mediante la aplicación de un recubrimiento comestible de gel de mucílago de penca de sábila. *Vitae*, 20(3): 172-183.
- Ramírez, R., Arenas L., Acosta K., Yamarte M., y Sandoval L. 2012.** Efecto del escaldado sobre la calidad nutricional de pulpa de Guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 13(1): 48-57.
- Ramos-Guerrero, A., González-Estrada, R., Montalvo-González, E., Miranda-Castro, S., y Gutiérrez-Martínez, P. 2018.** Effect of the application of inducers on soursop fruit (*Annona muricata* L.): postharvest disease control, physiological behaviour and activation of defense systems. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(12): 1019-1025.
- Raven, P. H., Rey, F. E., y Eichhorn, S. E. 1999.** *Respiration in biology of plants*. W. H. Freeman and Company Worth Publishers. Sixth edition, 109-124.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. 1999.** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology y Medicine*, 26: 1231-1237.
- Romojado, M. 2016.** Tratamientos poscosecha para el control de los daños por frío en frutos climatéricos y no climatéricos. Tesis de doctorado. Universidad de Murcia-Dpto. de Química Agrícola, Geología y Edafología, Murcia.
- Salinas Salazar, V. M., Trejo Márquez, M. A., y Lira Vargas, A. 2015.** Propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas comestibles a base de mucílago de Nopal como

alternativa para la aplicación en frutos. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 16(2): 193-198.

Sanchez-Gonzales, C. C. R., Alvarez-Guzman., G., y Flores-García, J. 2019. Phenolic compounds and antioxidant activity of extracts from chirimoya (*Annona cherimola* Mill) leaf. Revista Colombiana de Química, 48(2): 21-26.

Saucedo, S., Rojas, R., Aguilera, A., Saenz, A., De La Garza, H., Jasso, A., y Aguilar, C. 2009. Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. Food Research International, 42(4): 511-515.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2019. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México.

Silva, K. y Sirasa, M. 2018. Antioxidant properties of selected fruit cultivars grown in Sri Lanka. Food Chemistry, 238: 203-208.

Singh, D. R., Singh, S., y Shajeeda, V. 2014. Phytochemical composition, antioxidant activity and Sensory evaluation of potential underutilized fruit Soursop (*Annona muricata* L.) in Bay Islands. Journal of the Andaman Science Association, 19(1); 30-37.

Singh, D. R., Singh, S., Salim, K. M., y Srivastava, R. C. 2012. Estimation of phytochemicals and antioxidant activity of underutilized fruits of Andaman Islands (India). International Journal of Food Sciences and Nutrition, 63(4): 446–452.

Sothornvit, R. y Rodsamran, P. 2008. Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. Postharvest Biology and Technology, 47(3): 407-415.

Souza, M. P., Vaz, A. F., Cerqueira, M. A., Texeira, J. A., Vicente, A. A., y Carneiro-da-Cunha, M. G. 2015. Effect of an edible nanomultilayer coating by electrostatic self-assembly on the shelf life of fresh-cut mangoes. Food and Bioprocess Technology, 8: 647-654.

Stintzing, F C., Herbach, K.M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh, C. C., Bunch, R., y Felker, P. 2005. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* ssp.) clones. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53: 442-451.

- Tovar-Gómez, B., Mata-Montes de Oca, M., García-Galindo, H., y Montalvo-González, E. 2011.** Efecto de emulsiones de cera y 1-metilciclopropeno en la conservación poscosecha de guanábana. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(Especial 1): 53-61.
- Vázquez-Briones, M. C., y Guerrero-Beltran, J. A. 2013.** Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2): 5-14.
- Villalba, M., Yepes, I., y Arrázola, G. 2006.** Caracterización fisicoquímica de frutas de la zona del Sinú para su agroindustrialización. *Revista Temas Agrarios* 11(1): 15-23.
- Yashoda, H., Prabha, T., y Tharanathan, R. 2006.** Mango ripening: changes in cell wall constituents in relation to textural softening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(5): 713-721.
- Zhishen, J., Mengcheng, T., y Jianming, W. 1999.** The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64: 555-559.
- Zlotek, U., Mikulska, S., Nagajek, M., y Świeca, M. 2016.** The effect of different solvents and number of extraction steps on the polyphenol content and antioxidant capacity of basil leaves (*Ocimum basilicum* L.) extracts. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23(5): 628-633.

3.7 PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

La presente investigación generó conocimiento acerca del comportamiento del fruto de guanábana recubierto con biopelículas a base de mucílago de jamaica y almidón de guanábana durante su almacenamiento poscosecha. No obstante, existe poca información con respecto a estos polisacáridos, por lo que es necesario realizar más investigación acerca de los recubrimientos para determinar sus componentes y características fisicoquímicas, con el objetivo de mejorar el proceso de elaboración del recubrimiento y su aporte como material de cobertura en los productos hortofrutícolas.

3.8. AGRADECIMIENTOS

Proyecto apoyado por el Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos (SAGARPA-CONACyT), clave 266891 y por el Fondo Sectorial de Investigación para la educación (SEP-CONACyT), clave 242718. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) a través de la beca No. 705659.