



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**RECUBRIMIENTO POLIMÉRICO A BASE DE GOMA GUAR,
CERA DE CANDELILLA Y ACEITES ESENCIALES EN FRUTOS
DE MANGO EN POSTCOSECHA**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

Néstor de Jesús Meléndez Gómez



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
COORDINACIÓN DE EXÁMENES PROFESIONALES

Bajo la supervisión: Gustavo Almaguer Vargas, Dr.



Instituto de Horticultura

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2018.

**RECUBRIMIENTO POLIMÉRICO A BASE DE GOMA GUAR,
CERA DE CANDELILLA Y ACEITES ESENCIALES EN FRUTOS
DE MANGO EN POSTCOSECHA**

Tesis realizada por Néstor de Jesús Meléndez Gómez bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

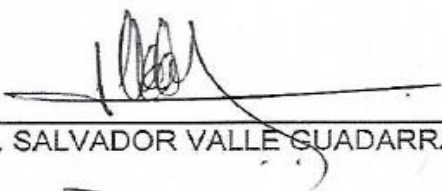
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



DR. GUSTAVO ALMAGUER VARGAS

CO-DIRECTOR:



DR. SALVADOR VALLE GUADARRAMA

ASESOR:



DR. ALEJANDRO F. BARRIENTOS PRIEGO

Chapingo, Texcoco de Mora, octubre de 2018

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. OBJETIVOS	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1 Mango (<i>Manguifera indica</i> L.)	7
4.2 Composición y propiedades nutricionales	7
4.3 Postcosecha y procesamiento	8
4.4 Mercadeo y comercio nacional del mango	10
4.5 Recubrimientos biopoliméricos (RB)	11
4.6 Uso de recubrimientos biopoliméricos en mango	14
4.7 Goma guar como recubrimiento comestible	16
5 LITERATURA CITADA	17
6 CONCENTRACIÓN MÍNIMA INHIBITORIA DE ACEITES ESENCIALES DE HONGOS FITOPATÓGENOS EN MANGO	23
6.1 Resumen	23
6.2 Abstract	23
6.3 Introducción	24
6.4 Materiales y métodos	25
6.4.1 Material vegetal	25
6.4.2 Obtención de las cepas	25
6.4.3 Bioensayo <i>In vitro</i>	25
6.4.4 Inhibición micelial y efecto fungistático	26
6.4.5 Bioensayo <i>In situ</i>	26

6.4.6	Porcentaje de infección e índice de severidad	26
6.4.7	Análisis de datos.....	27
6.5	Resultados y discusión	27
6.5.1	Aislamiento de la cepa.....	27
6.5.2	Evaluación <i>in vitro</i>	27
6.5.3	Bioensayo <i>in situ</i>	32
6.6	Conclusiones.....	35
6.7	Literatura citada.....	35
7	RECUBRIMIENTO BIOPOLIMÉRICO EN FRUTOS DE MANGO PARA ALARGAR LA VIDA ÚTIL EN POSTCOSECHA.....	39
7.1	Resumen	39
7.2	Abstract.....	39
7.3	Introducción.....	40
7.4	Materiales y métodos	42
7.4.1	Material vegetal.....	42
7.4.2	Organización experimental.....	42
7.4.3	Variables respuesta.....	43
7.5	Resultados y discusión	46
7.5.1	Pérdida acumulada de peso.....	49
7.5.2	Grados Hue (°hue).....	50
7.5.3	Luminosidad.....	51
7.5.4	Cromaticidad	52
7.5.5	Respiración.....	53
7.5.6	Firmeza.....	55
7.5.7	Sólidos solubles totales.....	57

7.5.8	Acidez titulable (AT)	59
7.5.9	pH	61
7.5.10	Azúcares totales	62
7.5.11	Azúcares reductores directos	63
7.5.12	Contenido de fenoles solubles totales (FST)	64
7.5.13	Contenido de carotenoides	66
7.6	Conclusiones	67
7.7	Literatura citada	68

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición del mango (100 g de pulpa).....	8
Cuadro 2. Uso de recubrimientos biopoliméricos en frutos de mango.....	15
Cuadro 3. Comparación de medias del crecimiento micelial de dos hongos fitopatógenos con cuatro aceites esenciales (desviación estándar = 2.87).	28
Cuadro 4. Porcentajes de infección e índices de severidad inducidas de hongos patógenos en frutos de mango tratados con recubrimientos a base de goma guar, cera de candelilla y aceite esencial de tomillo. Todos los tratamientos usaron recubrimientos con 50 % de solución de goma guar y 50 % de mezcla cera de candelilla y ácido oleico.	33
Cuadro 5. Valores percentiles de la distribución de Fisher ($F_{0.05}$) con ($\alpha=0.05$) y valores de F correspondientes al análisis de varianza de la aplicación de recubrimientos poliméricos con aceite esencial de tomillo en frutos de mango.....	47
Cuadro 6. Comparación de medias de pérdida acumulada de peso, luminosidad (L^*), cromaticidad (C^*), ángulo de matiz (H^*), actividad respiratoria y firmeza correspondientes a frutos de mango manejados a dos temperaturas y con distintos recubrimientos a lo largo de un almacenamiento en postcosecha.....	48
Cuadro 7. Comparación de medias del contenido de sólidos solubles totales (SST, °Brix), acidez titulable (AT, %), pH, azúcares totales, azúcares reductores, contenido de fenoles solubles totales (FST) y contenido de carotenoides (Carot) correspondientes a frutos de mango manejados a dos temperaturas y con distintos recubrimientos a lo largo de un almacenamiento en postcosecha.	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de maduración del mango “Ataulfo”. Fuente: Baéz et al. (2018).....	10
Figura 2. Porcentaje de inhibición micelial de cuatro aceites esenciales aplicados en cuatro concentraciones sobre dos especies fúngicas: A) <i>Botryodiplodia theobromae</i> B) <i>Collectotrichum gloeosporioides</i> . (Tukey, $\alpha=0.05$).	29
Figura 3. Efecto de las concentraciones de aceites esenciales en el desarrollo de <i>C. gloeosporioides</i> después de 5 d de crecimiento. O, P, T y H: aceites esenciales de orégano, pirul, tomillo e hinojo.	30
Figura 4. Efecto de las concentraciones de aceites esenciales en el desarrollo de <i>B. theobromae</i> después de 5 d de crecimiento. O, P, T y H: aceites esenciales de orégano, pirul, tomillo e hinojo.	31
Figura 5. Efecto del aceite esencial de tomillo en frutos de mango inoculados con <i>C. gloeosporioides</i> y <i>B. theobromae</i> a cinco días de crecimiento.	34
Figura 6. Pérdida de peso en Mango “Ataulfo” con recubrimientos poliméricos almacenados: A:19 días a $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 65 % H.R. ± 2 y, B: 37 días a $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 90 % H.R ± 2 . Los símbolos representan la media para $n=3$	49
Figura 7. Cambios en el ángulo de matiz de la piel de mangos “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 90 % H.R ± 2 . Los símbolos representan la media para $n=3$	50
Figura 8. Cambios en la luminosidad de la piel de mangos “Ataulfo” durante el almacenamiento: a)19 días a $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 90 % H.R ± 2 . Los símbolos representan la media para $n=3$	51
Figura 9. Cambios en la cromaticidad de la piel de mangos “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 90 % H.R ± 2 . Los símbolos representan la media para $n=3$	52
Figura 10. Tasa de respiración de mangos “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 90 % H.R ± 2 . Los símbolos representan la media para $n=3$	53

Figura 11. Firmeza de mangos “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.	55
Figura 12. Sólidos Solubles Totales (°Brix) en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.	58
Figura 13. Acidez Titulable en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.	59
Figura 14. pH en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.	61
Figura 15. Azúcares totales en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.	62
Figura 16. Porcentaje de azúcares reductores en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 d a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 d a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.	63
Figura 17. Compuestos fenólicos en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.	65
Figura 18. Carotenoides en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.	66

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de Posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Ingeniería Fitotecnia y al Departamento de Ingeniería Agroindustrial por las facilidades brindadas para la realización de esta investigación.

Al Dr. Salvador Valle Guadarrama y al Dr. Gustavo Almaguer Vargas por la dirección, la confianza y la paciencia para la realización de este proyecto.

Al Dr. Alejandro F. Barrientos Priego por sus valiosas aportaciones.

A las laboratoristas Alejandra y Araceli quienes muy amablemente me facilitaron materiales para llevar a cabo la parte experimental de este proyecto.

A mi familia quienes me han enseñado de fortaleza y perseverancia, a mi novia por su apoyo, comprensión y cariño que hicieron amena esta etapa de mi vida.

DATOS BIOGRÁFICOS

Néstor de Jesús Meléndez Gómez, nació el 5 de febrero de 1991 en San Pedro Tapanatepec, Oaxaca. Realizó sus estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo obteniendo el grado de Ingeniero Agroindustrial en el año 2014 con la tesis denominada “Utilización de bagazo de naranja para la obtención de bioproteína mediante *Aspergillus niger* y su formulación en dietas balanceadas para pollos de granja”.

Posteriormente se dedicó a trabajar en una empacadora de mango de exportación durante el periodo de 2014-2015.

Resumen general

Recubrimiento polimérico a base de goma guar, cera de candelilla y aceites esenciales en frutos de mango en postcosecha

El fruto de mango (*Mangifera indica*) es muy perecedero pues experimenta desarrollo de hongos como *Collectotrichum gloeosporioides* y *Botryodiplodia theobromae* que limitan su vida de anaquel. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del uso de un recubrimiento biopolimérico preparado a base de goma guar y cera de candelilla e incorporado con aceite esencial de tomillo como agente antifúngico (Gg-Cc-At), sobre la vida de anaquel del fruto de mango. Se usaron frutos de mango 'Ataulfo' desarrollados en San Pedro Tapanatepec, Oaxaca. Se realizó evaluación del uso *in vitro* e *in situ* de aceites esenciales de tomillo, hinojo, orégano y pirul, en contra *C. gloeosporioides* y *B. theobromae*. La mayor actividad inhibitoria fue causada por los aceites de tomillo y orégano, con concentración mínima inhibitoria de 500 ppm. Se desarrolló un almacenamiento con frutos recubiertos con mezclas de Gg-Cc, en proporciones de 50-50 y 70-30 y At (500 ppm), respectivamente, durante 19 d a 24 °C y 65 % de humedad relativa (Hr) y 37 d a 12 °C y 90 % Hr. En ambas temperaturas el uso de recubrimientos retrasó el cambio de color, la pérdida de firmeza, la disminución de la acidez, el incremento de azúcares reductores y el desarrollo fúngico en relación al material testigo. El uso de recubrimientos biopoliméricos es una estrategia que permite alargar la vida de anaquel de frutos de mango 'Ataulfo'.

Palabras clave: Recubrimientos poliméricos, almacenamiento, mangos verdes.

General abstract

Biopolymeric coating based on guar gum, candelilla wax, and essential oils in mango fruit in postharvest

The mango fruit (*Mangifera indica*) is very perishable because it experiences development of fungi such as *Collectotrichum gloeosporioides* and *Botryodiplodia theobromae* that limit shelf life. The objective of the work was to evaluate the effect of the use of a biopolymer coating prepared with guar gum with candelilla wax and incorporated with thyme essential oil as antifungal agent (Gg-Cc-At), on fruit of mango shelf life. 'Ataulfo' mango fruits developed in San Pedro Tapanatepec, Oaxaca were used as experimental plant material. An evaluation of the *in vitro* and *in situ* use of essential oils of thyme, fennel, oregano, and pirul, versus *C. gloeosporioides* and *B. theobromae* was conducted. The highest inhibitory activity was caused by thyme and oregano oils, with a minimum inhibitory concentration of 500 ppm. A storage was developed with fruit coated with mixtures of Gg-Cc, in proportions of 50-50 and 70-30, respectively, and at (500 ppm), during 19 d at 24 °C with 65 % relative humidity (Rh) and 37 d at 12 °C with 90 % Rh. In both thermal conditions the use of coatings delayed the change of color, the loss of firmness, the decrease of acidity, the increase of reducing sugars, and the fungal development in relation to the control material. The use of biopolymeric coatings is a strategy that allows lengthening the shelf life of 'Ataulfo' mango.

Key words: Storage, *Mangifera indica*, shelf-life.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las frutas y hortalizas frescas son alimentos fundamentales dentro la dieta humana, que suplen diversas necesidades nutricionales y que se destacan, además, por ser una fuente importante de agua, vitaminas, minerales, carbohidratos y fitoquímicos (González-Aguilar et al., 2005). El mango es una fruta popular, de amplio consumo a nivel mundial, que requiere de un especial cuidado en postcosecha debido en parte a su carácter climatérico, que lo hace vulnerable al deterioro, debido a su sensibilidad a condiciones ambientales durante la maduración fuera del árbol, ocasionando pérdidas de los atributos de calidad del producto (García et al., 2010; Varela et al., 2011). La producción mundial de mango totalizó para el año 2016, según cifras reportadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en alrededor de 46.51 millones de toneladas, correspondiéndole el 42,3 % a India y en América, destacándose México como el mayor exportador con 18.9 %. Sin embargo, según la FAO, la gran deficiencia en la infraestructura para una adecuada comercialización en los países en vía de desarrollo y la poca demanda en el consumo de frutas que se encuentra por debajo de los límites recomendados por la OMS (400 g diarios por persona) en estas zonas, producen pérdidas en postcosecha de los productos frescos entre un 30 al 50% de la producción, ocasionando daños económicos tanto para los productores como para los intermediarios en la cadena, haciendo necesaria la implementación de técnicas de conservación y procesamiento que sean económicamente viables, de fácil acceso, que preserven las características de calidad de los frutos y de las cuales se obtengan diferentes productos con valor agregado (Ramírez., 2012; Escobar., 2013).

Las enfermedades en el mango, igual que en otros cultivos pueden originar pérdidas, ya que afectan la capacidad fisiológica y productiva de la planta,

pudiendo en muchos casos, incidir en la calidad de los frutos y en otros, provocar su destrucción total. Entre las principales enfermedades fúngicas se menciona la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Sacc. (Rodríguez et al., 2009) Esta enfermedad tiene mucha importancia en la fruticultura tropical, por los daños económicos que ocasiona en frutos y el elevado rango de hospederos que tiene el patógeno, entre los cuales se citan: mango (*Mangifera Indica* L.), aguacate (*Persea americana* M.), guanábana (*Annona muricata* L.), cítricos (*Citrus* spp), papaya (*Carica papaya* L.), manzano (*Malus domestica* B.) (Jeong et al., 2014). Es considerada económicamente como la más perjudicial del mango en condiciones de campo, debido a la aparición de manchas oscuras en hojas, flores, pedúnculo y frutos, particularmente en la etapa de cuajado, pudiendo sufrir daños antes de llegar a la madurez (Santamaría et al., 2011).

Los aceites esenciales son sustancias de origen vegetal cuyas mezclas de metabolitos secundarios volátiles, insolubles en agua, les confieren características particulares según sus diferentes proporciones (Castillo et al., 2014). Su función es variada en las plantas: son agentes de polinización y sirven de reserva y de protección, ya que defienden a la planta de otras plantas, de algunos insectos y de microorganismos. Los aceites esenciales se clasifican con base en diferentes criterios: su consistencia, su origen y la composición química de sus componentes mayoritarios (Burt., 2004). El aceite de *Thymus vulgaris* muestra actividad antifúngica y antimicrobiana (Matiz et al., 2015) por su componente mayoritario que es el 1,8-cineol en un 21.5 %, seguido del B-pineno con 20% y el o-cimeno con 17.9 % (Coy y Acosta., 2013), variando su composición de acuerdo al genotipo, localización geográfica, periodo de cosecha y método de extracción (Nevas et al., 2004).

Para mitigar los procesos de deterioro en frutos se han implementado diversos métodos; entre ellos, el uso los recubrimientos comestibles (RC), que actúan como una fina capa que se adhiere al alimento, permitiendo la formación de una barrera que tendrá como función permeabilizar adecuadamente los gases de la

respiración, contrarrestar la pérdida de humedad y disminuir los cambios metabólicos en el fruto que causan su maduración y la pérdida de sus atributos de calidad (Valverde et al., 2005; Serrano et al., 2006). Estos recubrimientos representan una alternativa económica en cuanto a consumo energético y equipamientos, comparado con técnicas de conservación como las atmósferas modificadas o la deshidratación, que además pueden influir en la calidad sensorial del alimento (Ramírez., 2012). La goma guar es un carbohidrato polimerizado comestible, útil como agente espesante y como reactivo de adsorción y ligador de hidrógeno con superficies minerales y celulósicas. Contiene galactosa y manosa en sus bloques estructurales.

Para mango se ha implementado el uso de diferentes matrices de recubrimiento que buscan contrarrestar los efectos de perecibilidad causada por la rápida maduración como fruto climatérico, dentro de los que se destacan polisacáridos como el quitosano y almidones de diferentes orígenes (Chien et al., 2007). En forma similar, es posible utilizar gomas naturales (Quintero et al., 2010) que por su composición pueden constituir ingredientes interesantes para la formación de recubrimientos biopoliméricos. La goma guar es un carbohidrato polimerizado comestible, útil como agente espesante y como reactivo de adsorción y ligador de hidrógeno con superficies minerales y celulósicas. Contiene galactosa y manosa en sus bloques estructurales (Ospina et al., 2011). Tiene el status de aditivo alimenticio directo. En el Food Chemicals Codex se afirma que es generalmente reconocido como seguro (GRAS) (Rodríguez., 2016), por lo que puede ser un componente adecuado para ser usado en la formación de recubrimientos biopoliméricos, pero su uso en mango no ha sido evaluado. En este contexto, esta investigación tuvo como objetivo conservar y prolongar la vida útil de mango “Ataulfo” con la aplicación de un recubrimiento polimérico a base de goma guar y aceite esencial de tomillo evaluando mediante parámetros físicos, fisicoquímicos, fisiológicos y microbiológicos su efectividad en un periodo de almacenamiento.

2. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales retos que actualmente enfrenta el almacenamiento y conservación de productos perecederos hortofrutícolas, es la necesidad de alargar la vida de anaquel, que principalmente se ve afectada por las condiciones ambientales en las que se realizan este tipo de actividades y ello constituye uno de los principales objetivos de la industria alimentaria (Zúñiga & Guerrero, 2016). Los hábitos de consumo de productos hortofrutícolas frescos y elaborados han cambiado con el paso del tiempo y debido a esto se han desarrollado y mejorado metodologías de las industrias agroalimentarias para alargar la vida útil en los productos. Las nuevas tendencias hacia un producto de alta calidad y con un elevado valor supone la puesta a punto de nuevos tratamientos de conservación, que por un lado satisfagan a un consumidor cada vez más exigente y, por otro, a un mercado cada vez más competitivo, dinámico y globalizado. Cada vez son más las restricciones al uso de los agroquímicos para la preservación de alimentos (Ortiz et al., 2013). Estos pueden dejar residuos (De la Vega et al., 2017), por lo que constantemente se buscan alternativas en forma de tratamientos físicos, como es el uso de bajas y altas temperaturas, irradiaciones, atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC), acompañadas por la aplicación o uso de películas comestibles o recubrimientos poliméricos, los cuales, en el caso de las atmósferas modificadas y controladas, ayudan como barrera a la respiración y el intercambio de CO₂, O₂ y vapor de agua.

El mango es un producto de importancia para México, ya que las condiciones climáticas favorecen su producción (Serna & Torres, 2014). Sin embargo, no se le ha dado la comercialización internacional adecuada por su falta de información y de emprendimiento y las cosechas normalmente se quedan para

satisfacer la demanda nacional. Es evidente que el potencial de México para la exportación de este tipo de productos es enorme, puesto que algunas características como el territorio y el clima impulsan grandes volúmenes de producción; los cuales pueden ser aprovechados y explotados en un mercado internacional que ofrece mayores beneficios, reflejados en las utilidades, que el mercado nacional ofrece. La solución idónea para preservar la calidad global (organoléptica, comercial, microbiológica y nutritiva) de estos productos hortofrutícolas y satisfacer las crecientes exigencias de los mercados internacionales, consiste en mejorar los tratamientos post-recolección (Artés, 2000). En este sentido, la aplicación de recubrimientos comestibles es una alternativa para mantener la calidad de los frutos, ya que mejora su apariencia y prolonga la vida comercial por reducción de la humedad y de la pérdida de peso (Báez et al., 2000; Cáceres et al., 2003).

El uso del aceite esencial de tomillo tiene gran importancia en nuestro país ya que posee propiedades benéficas de suma importancia como son la antifúngica, antiviral, antibacteriana, antiinflamatoria, antioxidante (Rosas & López, 2011). Es así que se plantea la elaboración de películas comestibles haciendo uso de aceite esencial de tomillo, con la finalidad de mejorar las técnicas de conservación para los productos perecederos y de esta forma favorecer el uso de materiales orgánicos biodegradables, y darle al consumidor productos frescos y accesibles en mejores condiciones.

3. OBJETIVOS

General:

Desarrollar un recubrimiento polimérico a base de goma guar y aceite esencial de tomillo para alargar la conservación de frutos de mango.

Específicos:

Desarrollar emulsiones a base de goma guar y aceite esencial de tomillo.

Evaluar el comportamiento postcosecha de frutos de mango recubiertos con una emulsión formulada a base de goma guar y aceite esencial de tomillo.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Mango (*Manguifera indica* L.)

El mango (*Manguifera indica* L.), pertenece a la familia Anacardiaceae. Es nativo de la región Indo-Burmana e incluye alrededor de 600 individuos. Esta planta tiene un crecimiento óptimo a temperaturas aproximadas entre 24-27°C y en condiciones de pH de suelo de 5.5 – 7.5 (Pérez-Tamayo, 2015). El árbol de la especie *M. indica* tiene forma piramidal y hojas alargadas y puede alcanzar hasta 20 m de altura. Su fruto es altamente apreciado por su excelente sabor y valor nutricional (Pérez-Tamayo, 2015). Este fruto es una drupa de forma ovoide, redonda, arriñonada o en ocasiones aplanada, que puede variar en peso desde 200 g hasta 2000 g y presentar diferentes tonos de color, entre los verdes, amarillos y rojos, dependiendo de la variedad y la madurez (Pérez-Tamayo, 2015). Existen tres grupos de variedades que se comercializan: Florida, indias y africanas (Maldonado-Astudillo et al., 2016).

4.2 Composición nutricional

El mango, consumido generalmente en estado fresco, se destaca por ser una fruta de gran aceptación por su valor alimenticio y su sabor, contando, además, con una gran cantidad de agua, azúcares, minerales, vitaminas y fibra (Pérez-Tamayo, 2015). Se destaca por ser una fuente de antioxidantes comprendida por su alto contenido en vitamina C, A y la presencia de ácidos como el p-cumárico, palmítico, málico y mirístico, que brindan una defensa contra la oxidación y degradación de las células (Pérez-Tamayo, 2015). Junto con estas vitaminas y la presencia de flavonoides (quercetina, camferol), el mango posee también función anticancerígena y se relacionan con el poder de reducción de niveles de hipertensión y colesterol (Pérez, 2015). La presencia de vitaminas del grupo B (niacina, piridoxina), brindan beneficios en el sistema nervioso, síntesis de aminoácidos, el metabolismo de las grasas y el equilibrio de líquidos en el organismo (Maldonado-Astudillo et al., 2016; Pérez-Tamayo, 2015). El mango posee una cantidad de calorías moderada, poca cantidad de sales, no

hay presencia de colesterol y poca grasa, lo que hace adecuado para las dietas. Además, por la gran cantidad de fibra que favorece el tránsito intestinal, resulta benéfico para personas con problemas de estreñimiento. Esta fruta también cuenta con la presencia representativa de minerales como el hierro, zinc, potasio y magnesio que proveen beneficios a la salud a nivel del sistema nervioso, circulatorio y muscular (Torres, 2012). En el Cuadro 1, se resume la composición y valor nutricional del mango.

Cuadro 1. Composición del mango (100 g de pulpa).

Agua	81.7	Vitamina A	389 mcg RE
Energía	65 Kcal (272 KJ)	Vitamina E	1,120mg ATE
Proteína	0.51 g	Tocoferol alpha	1.12 mg
Grasas	0.27 g	Ácidos saturados	0.066 g
Carbohidratos	17.00 g	Ácidos insaturados	0.101 g
Fibra dietaria total	1.8 g	Ácidos poliinsaturados	0.051 g
Cenizas	0.50 g	Aminoácidos	
Calcio	10 mg	Triptófano	0.008 g
Hierro	0.13 mg	Treonina	0.019 g
Magnesio	9.0 mg	Isoleucina	0.018 g
Fosforo	11 mg	Leucina	0.041 g
Potasio	156 mg	Lisina	0.041 G
Sodio	2 mg	Metionina	0.005
Zinc	0.04 mg	Fenilalanina	0.017 g
Cobre	0.11 mg	Tirosina	0.01 g
Manganeso	0.027 mg	Valina	0.026 g
Selenio	0.06 mcg	Arginina	0.019 g
Vitamina C	27.2 mg	Histidina	0.012 g
Tiamina	0.056 mg	Ácido aspártico	0.042 g
Riboflavina	0.57 mg	Alanina	0.051 g
Niacina	0.584 mg	Ácido glutámico	0.06 g
Ácido pantoténico	0.16 mg	Glicina	0.021 g
Vitamina B6	0.160 mg	Prolina	0.18
Folato total	14 mcg	Vitamina A IU	3894 IU

Fuente: (Pérez-Tamayo, 2015)

4.3 Postcosecha y procesamiento

El número de operaciones o actividades que ocurren después de cosechar la fruta hasta que ésta llega al consumidor se le conoce como postcosecha. En el mundo, no se llega a consumir un tercio de las frutas que producen, y en la

postcosecha estos productos frescos sufren pérdidas tanto en cantidad como en calidad. Se ha reportado que en países en desarrollo las pérdidas se calculan entre 20 % y 50 % y en países desarrollados entre 5 % y 25 % (García et al., 2010, Pérez-Tamayo, 2015).

El mango es un fruto climatérico que continua su proceso de maduración una vez ha sido cosechado, debido al aumento en la respiración y a la producción de etileno. Se requiere de un cuidado detallado en postcosecha, pues estas frutas son más susceptibles a las condiciones ambientales durante su maduración fuera del árbol y el etileno producido, se aceleran los procesos de respiración y aumentan la velocidad de consumo de reservas, haciendo que la vida útil de la fruta sea menor (García et al., 2010, Pérez-Tamayo, 2015).

El objetivo es aumentar la vida útil de anaquel, ya que por lo general los productos frescos son muy perecederos y que durante el periodo de comercialización (manipulación, transporte y almacenamiento) se produzca un deterioro de la calidad. Según el destino del producto, ya sea para la transformación agroindustrial o para consumo en fresco, se deben tener en cuenta las características fisicoquímicas y de color en los estados de madurez del fruto. Este estado de madurez es un parámetro importante en el manejo postcosecha del producto, ya que en estados de madurez tempranos se presenta mayor respiración, requiriendo condiciones de manejo más específicas (Pérez-Tamayo, 2015). En la Figura 1, se muestra la tabla de color para los diferentes estados de madurez del mango “Ataulfo”. Los estados de madurez del 2 al 4 presentan una adecuada concentración de azúcares, por lo que son mangos indicados para uso y transformación agroindustrial (García et al., 2010, (Pérez-Tamayo, 2015).



Figura 1. Etapas de maduración del mango “Ataulfo”. Fuente: Baéz et al. (2018).

4.4 Mercadeo y comercio nacional del mango

La comercialización del mango en el mercado nacional se realiza de productor a intermediario regional, el cual posteriormente comercializa el producto a las bodegas de los principales mercados nacionales y éstos a su vez al mercado detallista. El comercializador ofrece un pago inmediato, ya sea a pie de huerta o directamente en la empacadora. Otra variante es a través de la compra por adelantado de la cosecha (huerta en pie), continuando el intermediario con el mantenimiento de la huerta hasta la salida de la producción. También se comercializa siguiendo el esquema parafinanciero, en donde se habilita con los costos de cultivo por el empacador, quien suministra el capital de trabajo necesario al productor durante el ciclo y al final efectúan la liquidación correspondiente; en este proceso se establece un convenio de compra-venta por ambas partes, fijándose las condiciones de precio y calidad (Mazariegos Sánchez et al., 2017). Por otra parte, el comercializador de los mercados de abasto o bodeguero, ocurre directamente a las huertas para efectuar sus compras. Para el caso de Oaxaca los principales destinos nacionales de la

producción de mango son: Distrito Federal, Puebla y México (Maya-Ambía et al.,2011).

En el contexto internacional esta fruta tropical y exótica es producida en diferentes naciones cuyas características climáticas, cultivables y siembra le permiten su desarrollo de manera eficaz, en cantidad y calidad. Se ha visto que ha incrementado en los últimos diez años la demanda del mango a nivel internacional (Ayala-Garay et al., 2009). En el cual se ha hecho un registro de los países a los que el mango mexicano llega los que son los Estados Unidos, Canadá, Japón, Reino Unido, Bélgica, España, Francia, Alemania, Países Bajos, Guatemala, Austria, Suiza, Australia, Costa Rica, Israel, Italia, Luxemburgo, Nueva Zelanda, Brasil, Corea del Sur, Colombia y Suecia. Por lo que puede decir que su gama de amplitud comercial está favoreciendo a México en la distribución de mango (Osuna-García et al.,2002).

4.5 Recubrimientos biopoliméricos (RB)

Desde hace algunos siglos, el uso de los recubrimientos biopoliméricos ha sido establecido con el fin de mejorar la apariencia y la aumentar de la vida de anaquel de los alimentos (Embuscado & Huber, 2009). Para los chinos, en los siglos XII y XIII, las ceras se convirtieron en un recubrimiento ideal para aumentar y conservar la calidad de los frutos, así como lo fueron las grasas alrededor del siglo XVI para los británicos, las cuales se utilizaron como técnicas para prevenir la pérdida de humedad y el reblandecimiento en los alimentos. Llegado el siglo XX, las investigaciones en RB se fueron especializando, reportando investigaciones en donde se sugiere el uso de diferentes matrices formadoras de recubrimiento tal como las proteínas, los lípidos y los polisacáridos o la mezclas de estos, con el fin de generar una técnica que mejore la calidad de los alimentos ya sean frescos o mínimos procesados (Kester & Fennema, 1986). La funcionalidad de estos recubrimientos dependerá de los materiales utilizados, siendo productos como

el quitosano, los almidones de diferentes clases, alginatos, ceras y mucílagos algunos ejemplos de compuestos usados con éxito para preservar los atributos de calidad y neutralizar los efectos de la maduración que sufren los frutos en postcosecha (Rojas-Graü, 2006). Actualmente, los desafíos que asumen las nuevas formulaciones de recubrimientos se reúne en lograr la conservación de los atributos de calidad y el retraso de la maduración de los frutos a través del almacenamiento, los cuales se evalúan con parámetros como color, textura, sólidos solubles, pH y atributos sensoriales como sabor, aroma y apariencia general (González-Aguilar et al., 2005; Valverde et al., 2005; Rojas Graü, 2006; Embuscado & Huber, 2009; Pérez & Ibargüen, 2012; Ramírez, 2012).

La capa fina de recubrimiento que se forma sobre el alimento después de ser sometido a un proceso de aplicación como la aspersión, untamiento o inmersión, se le conoce como recubrimiento biopolimérico. Éste se dispone a modo de una capa y comúnmente es comestible. El objetivo de un RB simular un sistema similar al de una atmósfera modificada que retarde la pérdida de agua y la tasa respiratoria del alimento, controlando el intercambio de los gases como el dióxido de carbono, el oxígeno y el etileno (Lima et al., 2010). Además, los RB no deben adherir color, olor o sabor ajeno al alimento; deben ser seguros e inocuos para el consumidor, y a nivel económico deben ser de elaboración simple y de bajo costo de producción (Godoy, 2006; Rojas-Graü, 2006; Embuscado & Huber, 2009, (Pérez-Tamayo, 2015). Para su formulación, los RB se pueden combinar diferentes proporciones de lípidos, hidrocoloides, aditivos (emulsificantes, plastificantes, surfactantes) o agentes antimicrobianos, cuyo objetivo es aprovechar las ventajas de cada componente y la interacción entre ellos (Falguera et al., 2011).

Los lípidos, por su naturaleza hidrofóbica, brindan una escasa permeabilidad al vapor de agua, lo que los hace a un recubrimiento practico a la hora de frenar las pérdidas de agua; esto se explica debido a la baja polaridad de los compuestos y a su capacidad de formar una densa red tras un enfriamiento

adecuado. Sin embargo, los compuestos lipídicos afectan la percepción sensorial del alimento por su sabor y olor asociados a rancidez; y carecen de integridad estructural, por lo que se hace conveniente combinarlos con otras sustancias como proteínas o polisacáridos para formar una cobertura más estable. Dentro de los lípidos comestibles más utilizados se encuentran las ceras (candelilla, abeja y carnauba), las gomas (tragacanto, laca y xantana) y los ácidos grasos como el palmítico o el esteárico, entre otros (González-Aguilar et al., 2005).

Los hidrocoloides (polisacáridos o proteínas), son polímeros hidrofílicos de altos pesos moleculares con muchos grupos hidroxilos, que cumplen con una función mecánica y estructural y a su vez proveen propiedades deseables como recubrimiento comestible al comportarse como una barrera semipermeable y selectiva a la difusión de gases (O_2 y CO_2). Generalmente son usados como la matriz estructural del recubrimiento, ya que generan una red que se adhiere bien a las superficies hidrofílicas de los alimentos. Existe una amplia variedad de polisacáridos utilizados como formadores de recubrimiento que se destacan por ser de bajo costo y por no ser tóxicos. Dentro de estos polisacáridos encontramos almidones, pectinas, extractos de algas marinas (alginatos, carrageninas, quitosano), gomas y mucílagos vegetales. Debido a su alta permeabilidad al vapor de agua, precisan de otras sustancias, principalmente de origen lipídico, para ser utilizados como recubrimiento (Martin-Belloso et al., 2005; Escobar, 2013, Pérez-Tamayo, 2015).

Adicionalmente, aditivos como los plastificantes y los emulsificantes cumplen un papel esencial dentro de la formulación. Los plastificantes, por su parte, contribuyen al mejoramiento de la flexibilidad del recubrimiento, reducen su fracturabilidad e incrementan su resistencia al corte. De los más utilizados se encuentran el glicerol, polietilenglicol y el sorbitol (Saavedra & Algecira, 2010). Por su parte, los emulsificantes permiten la dispersión del lípido en la matriz hidrocoidal, incrementando la capacidad del recubrimiento para impregnar la

superficie del alimento, formando una capa continua que a su vez ayuda contra la pérdida de humedad (Rojas-Graü, 2006; Saavedra & Algecira, 2010). Finalmente se logran producir cubiertas naturales de biopolímeros como alternativa a los polímeros sintéticos con características específicas y con propiedades funcionales, tales como la capacidad de barrera a la humedad, a la permeabilidad de gases, biodegradabilidad y el mejoramiento de la apariencia (Godoy, 2006).

Los beneficios que brindan los recubrimientos biopoliméricos se incluyen (Pérez & Ibargüen, 2012):

- i. Proporcionar una barrera de gas para el intercambio de gases de los frutos y la atmósfera circundante, lo que disminuiría la respiración y el deterioro. La función de barrera es retardar la oxidación enzimática y reblandecimiento de la textura durante la conservación.
- ii. Otorgar propiedades de barrera contra la humedad en la superficie de los productos controlar los problemas de deshidratación. La pérdida de humedad durante el almacenamiento de las frutas conlleva a la pérdida de peso y cambios en la textura, sabor y apariencia.
- iii. Ayudar contra el daño físico causado por impacto mecánico, la compresión, vibraciones, otros factores.
- iv. Reducir el intercambio de compuestos volátiles entre el producto y su entorno mediante la adición de una barrera de gases, lo que impida la pérdida de compuestos aromáticos volátiles y componentes del color de los productos frescos.
- v. Funcionar como portadores de otros ingredientes funcionales, tales como agentes antimicrobianos (Aceites esenciales) y antioxidantes, nutraceuticos, entre otros (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2009; Pérez & Ibargüen, 2012).

4.6 Uso de recubrimientos biopoliméricos en mango

Diferentes materiales de recubrimiento se utilizan para evitar los efectos de maduración y perecibilidad que sufre el mango. En el Cuadro 2 se mencionan algunos RB y su función sobre mango.

Cuadro 2. Uso de recubrimientos biopoliméricos en frutos de mango.

RB	Efecto del RB	Referencia
Quitosano	Reducción en pérdida de humedad, conservación de la calidad sensorial (Color y sabor).	Chien et al., 2007
Quitosano	Disminución de la pérdida de peso, conservación del color, grados brix y atributos sensoriales (Apariencia, firmeza y gusto).	Nongtaodum & Jangchud, 2009
Quitosano + Tratamiento térmico	Inhibición microbiano, conservación de la firmeza y el color.	Djioua et al., 2010
Goma arábica	Disminución de pardeamiento enzimático	Abdelgader & Ismail, 2011
Almidón de yuca + Ácido cítrico	Disminución del índice de respiración. conservación del color y la textura.	Chiumarelli et al., 2011
Almidón de yuca + Glicerol + Cera carnauba	Manutención de atributos sensoriales y firmeza	Torres et al., 2012
Mucílago de opuntia + aceite de Rosemary	Retraso en el descenso de ácido ascórbico. Baja de la actividad enzimática POD (peroxidasa) y el crecimiento microbiano. Mínimos cambios en el color y firmeza.	Alikhani, 2014
Almidón de yuca + cera carnauba (pretratamiento de ácidos orgánicos)	Conservación de atributos sensoriales, físicos y químicos bajo refrigeración	Dussán-Sarria et al., 2014a
Almidón de yuca + cera carnauba (pretratamiento de ácidos orgánicos)	Aumento de vida útil. conservación de atributos sensoriales, físicos y químicos en refrigeración.	Dussán-Sarria et al., 2014b
Quitosano + aceites esenciales de limón y naranja	Mantenimiento del contenido de fenoles, estabilidad del color, inhibición microbiana y conservación de la firmeza.	Rodríguez et al., 2015

4.7 Goma guar como recubrimiento comestible

La goma guar es una goma natural que se usa como agente espesante y se obtiene del endospermo molido de la planta de guar (*Cyamopsis tetragonoloba*), una planta originaria de la India, de la familia de las leguminosas (Neem et al., 2018). La goma guar se dispersa e hidrata casi completamente en agua fría o caliente, formando soluciones muy viscosas. Es insoluble en solventes orgánicos. La dosis para formar geles es del 1–3 %.

Oregel-Zamudio et al. (2016) caracterizaron películas comestibles a base de diferentes compuestos, necesarias para ser aplicadas en alimentos específicos. Cuatro formulaciones de películas comestibles fueron estudiadas y comparadas: F1 (Goma guar 0.8 %, Cera candelilla 0.2 %, Glicerol 0.3 %), F2 (Goma guar 0.8 %, Cera candelilla 0.4 %, Glicerol 0.2 %), F3 (Goma guar 1.2 %, Cera candelilla 0.2 %, Glicerol 0.2 %) y F4 (Goma guar 1.2 %, Cera candelilla 0.4 %, Glicerol 0.3 %). La evaluación se hizo mediante parámetros como grosor, densidad, tasa de permeabilidad al vapor de agua (TPVA), velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA), transparencia, humedad y solubilidad. En términos generales F4 presentó mayor grosor, no hubo diferencias significativas en densidad ($P < 0.05$), F1 presentó mayor TPVA, F1 presentó mayor VTVA, F2 presentó mayor solubilidad, F1 mayor humedad y F4 mayor solubilidad. Esta caracterización permite optimizar la selección de la formulación más adecuada en su aplicación en la conservación de diferentes alimentos.

Ángel (2015) evaluó el efecto del recubrimiento comestible funcional de goma guar sobre las características de calidad postcosecha de guayaba (*Psidium guajava*). Para la caracterización de la película comestible se evaluaron cuatro formulaciones (A, B, C y D) en base al contenido de lípido (aceite de oliva) que se agregó, analizando los parámetros de solubilidad, humedad y espesor. La formulación que presentó mejores resultados en cuanto a solubilidad y

humedad fue la B (1.5 % goma guar, 30 % glicerol y 10 % de aceite de oliva). Para darle mayor efectividad contra microorganismos a la formulación, se agregó un antimicrobiano (0.5 % sorbato de potasio). El uso del recubrimiento comestible a base de goma guar permitió duplicar la vida de anaquel de frutos de guayaba almacenados a temperatura ambiente.

Martínez et al. (2015) mencionaron que la aplicación de recubrimientos de goma guar, CMC y goma Xanthan al 1.2 % en rodajas de platano fue adecuada para reducir el contenido de aceite sometidas a fritura en 43 %, 31 % y 23 % respectivamente. Por otra parte, de acuerdo a la aplicación del diseño central compuesto rotatable para el recubrimiento con goma guar, las mejores condiciones de operación ocurrieron con una concentración de goma guar de 1.4 % y un tiempo de 90 segundos, cuando las rodajas de plátano se sometieron a unas condiciones de fritura por inmersión de 180 °C y 3 minutos. Por lo tanto, los cortes de plátano recubiertos mantienen una buena calidad con bajo contenido de aceite, representando un producto más atractivo a los consumidores.

5 LITERATURA CITADA

- Abdelgader, M. O., & Ismail, I. A. (2011). Application of gum arabic for coating of dried mango slices. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(5), 457–462.
- Alikhani, M. (2014). Enhancing safety and shelf life of freshcut mango by application of edible coatings and microencapsulation technique. *Food Science & Nutrition*, 2(3), 210-217.
- Ángel Espinoza A. (2015). Efecto de un recubrimiento comestible funcional a base de goma guar sobre la calidad postcosecha de guayaba. Tesis de Licenciatura. UAAAN, Coahuila, México 5-32.
- Artés, F. 2000. Conservación de los productos vegetales en atmósferas modificadas. Cap. 4, págs. 105-125 en: Lamúa, M. (ed.), *Aplicación del frío en los alimentos*. Mundi Prensa. Madrid, España.

- Asohofrucol & Corpoica. (2013). Modelo tecnológico para el cultivo de mango en el Valle del alto Magdalena en el departamento del Tolima. Recuperado de [http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_264_MP_Mango .pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_264_MP_Mango.pdf)
- Báez, R.; Bringas, E.; Mendoza, A.M.; González A.G; Ojeda A.J. 2000. Recubrimientos de tratamientos especiales en frutos de mango tratados hidrotérmicamente. Págs. 71-74 en: Villamizar, F.; Báez, R. (eds), Segundo Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Agrícola. Bogotá, Colombia.
- Báez M., Crisosto G. M., Contreras R., Wilkins K and Crisosto C. H. (2018). Entendiendo el Rol de la Madurez Fisiológica y las Condiciones de Envío en la Calidad de Llegada del Mango. Recuperado de https://www.mango.org/wp-content/uploads/2018/04/Physiological-Maturity-and-Shipping-Conditions_-Spn.pdf.
- Burt S. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. (2004) Int J Food Microbiol. 94:223-53. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Cáceres, I.; Mulkay, T.; Rodríguez, J.; Paumier, A.; Sisino, A. (2003). Influencia del encerado y tratamiento térmico en la calidad postcosecha del mango. Revista Simiente 73(1-2):25 -29.
- Castillo S, Pérez-Alfonso CO, Martínez-Romero D, Guillén F, Serrano M, Valero D. (2014). The essential oils timol and carvacrol applied in the packing lines avoid lemon spoilage and maintain quality during storage. Food Control.35:132-6. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.06.052>
- Chien, P.-J., Sheu, F., & Yang, F.-H. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. Journal of Food Engineering, 78(1), 225–229.
- Chiumarelli, M., Pereira, M., Ferrari, C., Sarantópoulos, C., & Hubinger, M. (2010). Cassava starch coating and citric acid to preserve quality

- parameters of fresh-cut "Tommy Atkins" mango. *Journal of Food Science*, 75 (5), 297-304.
- Djioua, T., Charles, F., Freire, M., Filgueiras, H., Ducamp-Collin, M.-N., & Sallanon, H. (2010). Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 45(4), 849–855.
- Dussán-Sarria, S., Torres-León, C., & Reyes-Calvache, P. (2014a). Efecto del recubrimiento comestible sobre los atributos físicoquímicos de mango 'Tommy Atkins' mínimamente procesado y refrigerado. *Acta Agronómica*, 63(3),1-11.
- Dussán-Sarria, S., Torres-León, C., & Hleap-Zapata, J. (2014b). Efecto de un recubrimiento comestible y diferentes empaques durante el almacenamiento refrigerado de Mango 'Tommy Atkins' mínimamente procesado. *Inf. Tecnol*, 25(4), 123-130.
- Embuscado, M., & Huber, K. (2009). *Edible films and coatings for food applications*. New York: Springer 1-23.
- Escobar, A. (2013). *Aplicación de la tecnología de barreras para la conservación individual y de mezclas de hortalizas mínimamente procesadas*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Falguera, V., Quintero, J., Jimenez, A., Muñoz, J., Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(1), 292-303.
- García J., Sandoval P., Forero F., Floriano J., Salamanca G., Bernal J. Gomez G. (2010). *Atributos de calidad del mango criollo para la agroindustria*. Colombia: Corpoica. 48 p.
- Godoy, A. (2006). *Desarrollo de películas o recubrimientos comestibles con potencial para el recubrimiento de frutas frescas*. (Tesis de posgrado). Universidad Autónoma Metropolitana, México 8-27.

- González-Aguilar, G., Gardea, A., & Cuamea-Navarro, F. (2005). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Guadalajara: Logiprint Digital S. 65-77.
- Jeong, S. W.; Kim, H. G.; Park, S.; Lee, J. H.; Kim, Y. H.; Kim, G. S.; Jin, J. S.; Kwak, Y. S.; Huh, M. R.; Lee, J. E.; Song, Y. y Shin, S. C. (2014). Variation in flavonoid levels in Citrus benikoji Hort. ex. Tan. infected by Colletotrichum gloeosporioides. Food Chemistry, 148 (1)284-288.
- Kester, J., & Fennema O. (1986). Edible films and coatings: a review. Food Technol, 40(12), 47–59.
- Martin-Belloso, O., Soliva- Fortuny, R., & Baldwin, E. (2005). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Tesis doctoral. 212-231.
- Martínez D. F., Castellanos F. J., Bravo J. E. (2015). Application of edible coatings in green plantain slices subjected to deep-fat frying. Ingeniería y Competitividad, 17 (2), 91 – 99.
- Milacatl, V. (2003). Cambios en atributos sensoriales y degradación de ácido ascórbico en función de la temperatura en puré y néctar de mango. (Tesis de grado). Universidad de las Américas, Puebla, México. 1-23.
- Moreno, A., León, D., Giraldo, G., & Ríos, E. (2010). Estudio de la cinética fisicoquímica del mango (Manguifera Indica L. Var. Tommy Atkins) tratado por métodos combinados de secado. Dyna, 1(162), 75–84.
- Nongtaodum, S., & Jangchud, A. (2009). Effects of Edible Chitosan Coating on Quality of Fresh-Cut Mangoes (Fa-lun) During Storage. Kasetsart J. (Nat. Sci.), 43, 282-289.
- Olivas, G., & Barbosa-Cánovas, G. (2009). Edible films and coatings for fruits and vegetables. En M. Embuscado & K. Huber (Eds.), Edible films and coatings for food applications (pp. 211–244). New York: Springer.
- Oregel-Zamudio E., Aguilar C. N., Oyoque-Salcedo G., Angoa-Pérez, M. V., Mena-Violante, H. G. (2016). Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de cera de candelilla. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 17(1)1-7.

- Pérez, A., & Ibargüen, A. (2012). Formulación y aplicación de recubrimientos comestibles a base de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) en frutos frescos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). (Tesis de pregrado). Universidad del Quindío, Armenia, Colombia. 106-128
- Ramírez, J. (2012). Conservación de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) mediante la aplicación de un recubrimiento comestible de gel de mucílago de penca de sábila (*Aloe barbadensis* Miller). (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia 16-34.
- Rojas-Graü, M. (2006). Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación. (Tesis Doctoral). Universidad de Lérida, España 12-22.
- Rodríguez, F., Gutiérrez, C., & Moreno, C. (2015). Influence of chitosan coatings with citric essential oil on the shelf-life of minimally processed mango (*Mangifera indica* L.). *Rev.Fac.Nal.Agr*, 68(2), 7679-7688.
- Rodríguez, L. E. S.; González, P. J. M. y Mayek, P. N. (2009). La Infección de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en Aguacatero (*Persea americana* Mill.): Aspectos Bioquímicos y Genéticos". *Revista Mexicana de Fitopatología*, 27(1). 53-63
- Saavedra, M., & Algecira, N. (2010) Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. *Nova*, 8(14), 171-182.
- Serrano, M., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., & Valero, D. (2006). Use of Aloe vera gel coating preserves the functional properties of table grapes. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(11), 3882–6.
- Torres, C., Dussán, S., & Reyes, P. (2012). Estimación de la vida útil de mango "Tommy atkins" mínimamente procesado pre tratado con recubrimiento comestible. 5ta Jornada de la ciencia y tecnología, Libro de resúmenes. Palmira: Universidad Nacional 44-50.
- Valverde, J. M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., & Serrano, M. (2005). Novel edible coating based on aloe vera gel to

maintain table grape quality and safety. Journal of agricultural and food chemistry, 53(20), 7807–13.

Varela, A., Materano, W., Maffei, M., Quintero, I., Zambrano, J. (2011). Uso de recubrimientos comestibles y baja temperatura para mantener la calidad de frutos de mango "Bocado" durante el almacenamiento. Rev.Fac.Agron, (28), 600-608.

Zúñiga, A. y Guerrero, D. (2016). Análisis de condiciones de mercado para el desarrollo de tecnologías de cadena de frío. Sinapsis (8), 2, 56-76.

Concentración mínima inhibitoria de aceites esenciales de hongos fitopatógenos en mango

5.1 Resumen

El ataque de microorganismos patógenos es uno de los principales factores que disminuyen la calidad postcosecha de los productos frescos. El mango es afectado por los hongos *Colletotrichum gloeosporioides* y *Botryodiplodia theobromae* que modifican severamente su apariencia y calidad. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia *in vitro* e *in situ* de 4 aceites esenciales (tomillo, hinojo, orégano y pirul) en contra *Colletotrichum gloeosporioides* y *Botryodiplodia theobromae*. La evaluación *in vitro* se realizó empleando 4 concentraciones del aceite esencial (500, 1000, 1500 y 2000 ppm) y la *in situ* también 4 concentraciones (500, 750, 1500 y 2000 ppm). La concentración mínima inhibitoria del aceite esencial de tomillo y orégano fue de 500 ppm. Lo anterior demostraría la eficacia de los aceites esenciales para controlar a *C. gloeosporioides* y *B. theobromae*, y su posible uso como fungicida biológico.

Palabras clave: *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botryodiplodia theobromae*, Aceites esenciales.

Minimum inhibitory concentration of essential oils on phytopathogenic fungi in mango fruit

5.2 Abstract

The attack of pathogenic microorganisms is one of the main factors that decrease the post-harvest quality of fresh products. The mango is affected by the fungi *Colletotrichum gloeosporioides* and *Botryodiplodia theobromae* that severely modify their appearance and quality. The objective of this study was to evaluate the *in vitro* and *in situ* efficiency of 4 essential oils (thyme, fennel, oregano and pirul) against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Botryodiplodia theobromae*. The *in vitro* evaluation was carried out using 4 concentrations of the essential oil (500, 1000, 1500 and 2000 ppm) and *in situ* also 4 concentrations (500, 750, 1500 and 2000 ppm). The minimum inhibitory concentration of thyme and oregano essential oil was 500 ppm. The above would demonstrate the efficacy of essential oils to control *C. gloeosporioides* and *B. theobromae*, and their possible use as a biological fungicide.

Key words: *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botryodiplodia theobromae*, Essential oils.

5.3 Introducción

Actualmente, para el control de hongos fitopatógenos se requiere aplicar técnicas alternativas, ya que el manejo tradicional con agroquímicos sintéticos ha ocasionado diversos problemas como la toxicidad a los usuarios (Whalen et al., 2003), detención de exportaciones por residuos en producto de consumo y daños al medio ambiente (Ramírez-Legarreta y Jacobo-Cuéllar, 2002), además de la afectación de organismos benéficos (Anderson et al., 2003). Otro aspecto importante de los microorganismos fitopatógenos es que han generado resistencia al ingrediente activo de algunos fungicidas sintéticos (Cooke et al., 2003; Leroux, 2003), como respuesta a la presión de selección debido a altas dosis y aplicaciones continuas, ocasionando grandes pérdidas económicas. Una alternativa económica y eficiente para el control de enfermedades, es el uso de los productos naturales derivados de las plantas (Montes, 2000), las cuales no afectan el medio ambiente, ya que son fáciles de degradar y tienen potencial para el control de patógenos de productos agrícolas en postcosecha. *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc., es el principal género causante de antracnosis en la mayoría de los cultivos en el mundo, es el principal problema de mango y es considerada la enfermedad más importante en pre y postcosecha que afecta a este cultivo en el mundo. Se ha estimado que cuando las condiciones ambientales son propicias para su desarrollo puede afectar hasta un 60 % de la producción de fruta (Litz, 2000). La pudrición del pedúnculo de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) causa pérdidas severas después de la cosecha y son más importantes durante el almacenamiento prolongado, porque reducen la calidad de los frutos y limitan su comercialización (Johnson et al., 1991). La pudrición es ocasionada por *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. & Maubl. (Mirzaee et al., 2002) (= *Botryodiplodia theobromae*). En México no existen reportes que precisen los agentes causales de la pudrición del pedúnculo, ni su asociación con la muerte descendente de ramas que proporcionen información para el manejo de la enfermedad desde la etapa de crecimiento de la planta hasta la época de

desarrollo del fruto y cosecha. El objetivo de esta investigación fue determinar la concentración mínima inhibitoria de las principales enfermedades del mango de manera *in vitro* e *in situ*.

5.4 Materiales y métodos

5.4.1 Material vegetal

Se obtuvieron frutos del mercado municipal de Texcoco de Mora, México. El material se colocó en charolas y se sometió a incubación a 28 °C en ambiente con presencia de agua para favorecer el incremento de humedad relativa para la proliferación de los patógenos.

5.4.2 Obtención de las cepas

De los frutos de mango se aisló *Colletotrichum gloeosporioides* y *Botryodiplodia theobromae*. El crecimiento se realizó sembrando tejido vegetal infectado en medio de cultivo Papa-Dextrosa-Agar (PDA). Posteriormente se realizó identificación de especies fúngicas con apoyo bibliográfico) y se conservaron a 28 °C por 5 d, considerado este periodo como tiempo de crecimiento estándar para realizar la siembra del inóculo en medio envenenado para la evaluación (Barnet, 1960).

5.4.3 Bioensayo *In vitro*

Se realizó un ensayo *in vitro* agregando la cantidad requerida de aceite esencial (tomillo, orégano, pirul e hinojo) en el medio de cultivo PDA, para obtener concentraciones de 500, 1000, 1500 y 2000 ppm y un testigo con el medio de cultivo, el cual se vació en cajas Petri y se dejó solidificar en la cámara de flujo laminar para evitar contaminación. Posteriormente se inocularon las cajas por medio de punción en el centro, con un asa bacteriológica que muestreó material proveniente de las cepas con 5 días de crecimiento de los microorganismos bajo estudio.

5.4.4 Inhibición micelial y efecto fungistático

El crecimiento micelial se registró diariamente durante 5 d. El porcentaje de inhibición se determinó en base al diámetro de las colonias y al testigo, tomando una lectura por caja Petri. El efecto fungistático se realizó por observación y evidencia fotográfica.

5.4.5 Bioensayo *In situ*

Se emplearon frutos de mango de la variedad “Ataulfo”, en estado maduro, sin daños mecánicos o síntomas de enfermedad. Se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1 % durante 15 min, se lavaron tres veces con agua destilada y se dejaron secar a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) sobre papel. Se establecieron 5 tratamientos: un testigo, consistente de frutos sin recubrimiento y cuatro tratamientos basados en la aplicación de recubrimientos, que se formularon con 50 % fase lipídica (50 % cera de candelilla y 50 % ácido oleico) y 50 % hidrofílica (con goma guar al 1 %), con concentraciones de aceite esencial de tomillo de 500, 750, 1500 y 2000 ppm.

En condiciones de esterilidad a cada fruto se le realizaron heridas de 2 mm con un asa bacteriológica, y se inocularon con las cepas obtenidas. Los frutos tratados se incubaron en charolas de plástico, con temperatura (25 ± 2 °C) durante 5 d del ensayo. Se evaluó el porcentaje de infección y el índice de severidad.

5.4.6 Porcentaje de infección e índice de severidad

Al término del periodo de almacenamiento, se cuantificaron los frutos que presentaban síntomas de antracnosis o pudrición de pedúnculo en cada tratamiento. El número total de frutos se consideró como el 100 %. El índice de severidad se determinó sobre la superficie de los frutos con grados de daño según una escala establecida con las siguientes características; 0 = 0; 1 = 1-5 %; 2 = 6-15 %; 3 = 16-45 %; 4 = 46-75 % y 5 = 76-100 % de daño visual por fruto y se calculó el índice de severidad mediante la ecuación descrita por Pérez

et al. (1995): Índice de severidad = $X_i(0) + X_i(1) + X_i(2) + X_i(3) + X_i(4) + X_i(5) / N$; donde X_i = número de frutos enfermos por cada grado de daño; 0, 1, 2, 3, 4, 5 = grado de daño en la escala utilizada y N = número total de frutos por unidad experimental.

5.4.7 Análisis de datos

Para cada microorganismo se evaluó el efecto de los cuatro aceites esenciales con cuatro concentraciones y un testigo en medio de cultivo PDA, teniendo tres repeticiones para cada concentración, considerando cada caja Petri como repetición. El análisis de datos se hizo mediante un diseño completamente al azar, donde el efecto de las concentraciones se consideró como único factor de variación. Se realizó un análisis de varianza complementado con rutinas de comparación de medias tratamiento Tukey ($\alpha=0.05$) con nivel de significancia de 0.05. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, Inc., 1996).

5.5 Resultados y discusión

5.5.1 Aislamiento de la cepa

Las cepas aisladas fueron identificadas por su morfología macroscópica y microscópica. Se encontraron cepas de *Collectotrichum gloeosporioides* y *Botryodiplodia theobromae* (=Lasiodiplodia theobromae).

5.5.2 Evaluación *in vitro*

A los 5 d de evaluación, dos aceites esenciales inhibieron significativamente el crecimiento micelial de *Collectotrichum gloeosporioides* y *Botryodiplodia theobromae* (=Lasiodiplodia theobromae) (Tukey, $\alpha=0.05$) desde la concentración más baja que fue 500 ppm, donde no se presentó crecimiento en comparación con el testigo (Cuadro 3). Los aceites esenciales no redujeron significativamente el crecimiento de los hongos estudiados.

Cuadro 3. Comparación de medias del crecimiento micelial de dos hongos fitopatógenos con cuatro aceites esenciales (desviación estándar = 2.87).

	<i>C. gloeosporioides</i> (cm)	<i>B. theobromae</i> (cm)
Tomillo	0.9448 b ^t	1.2904 b
Hinojo	2.3408 ab	8.2591 a
Orégano	1.1656 b	2.8535 b
Pirul	3.0087 a	3.1100 b
DMSH	1.6322	1.8696

^t Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales con base en la prueba (Tukey, $\alpha=0.05$); DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

En la Figura 2, se puede observar que el aceite esencial de tomillo y orégano presentaron una total de inhibición del crecimiento micelial en todas las concentraciones evaluadas. La tasa de crecimiento fue cero en comparación del testigo.

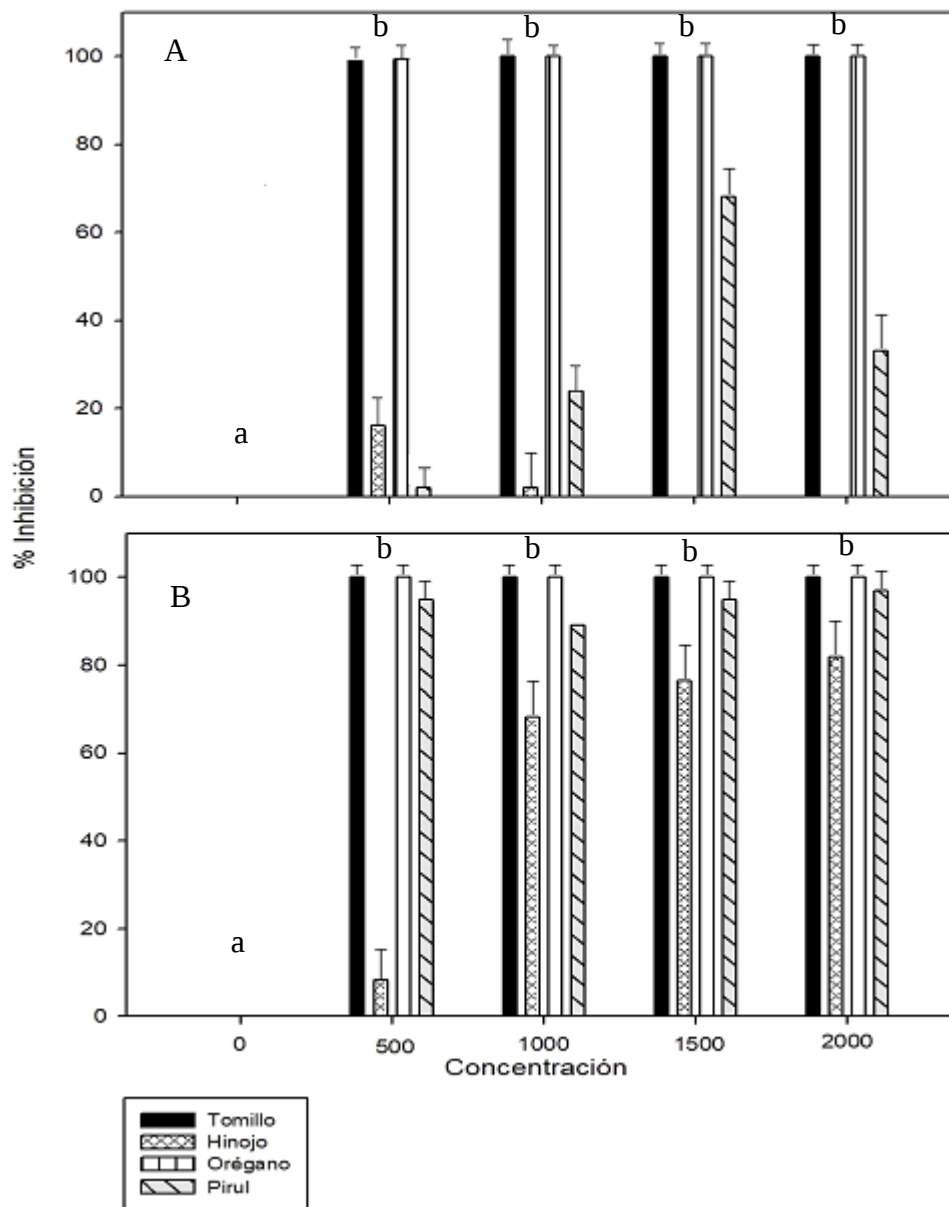


Figura 2. Porcentaje de inhibición micelial de cuatro aceites esenciales aplicados en cuatro concentraciones sobre dos especies fúngicas: A) *Botryodiplodia theobromae* B) *Collectotrichum gloeosporioides*. (Tukey, $\alpha=0.05$).

Los aceites esenciales de hinojo y pirul presentaron una inhibición de crecimiento micelial dependiente de la concentración usada y del patógeno evaluado, ya que ambos tuvieron una mayor inhibición en *Collectotrichum gloeosporioides*, mientras que con *Botryodiplodia theobromae* (=Lasiodiplodia

theobromae), el efecto inhibitorio fue muy bajo o nulo (Cuadro 3; Figuras 3 y 4). Por otro lado, la alta capacidad anti-fúngica encontrada en el aceite esencial de tomillo coincide con los resultados obtenidos por Barrera y García (2008) quienes observaron que *Fusarium* sp. presentó una total inhibición de crecimiento micelial a dosis de 200, 250 y 300 ppm $\mu\text{g/mL}$. Lizcano (2007) observó que con una concentración de 500 g/L aplicada a *Botrytis cinerea* se tuvo una inhibición del crecimiento micelial del 48 %. Alvarado et al., (2011) observaron que *Rhizopus stolonifer* tuvo una inhibición total cuando se mezcló quitosano (10 mg mL^{-1}) con aceite esencial de tomillo (0.1 mg mL^{-1}).

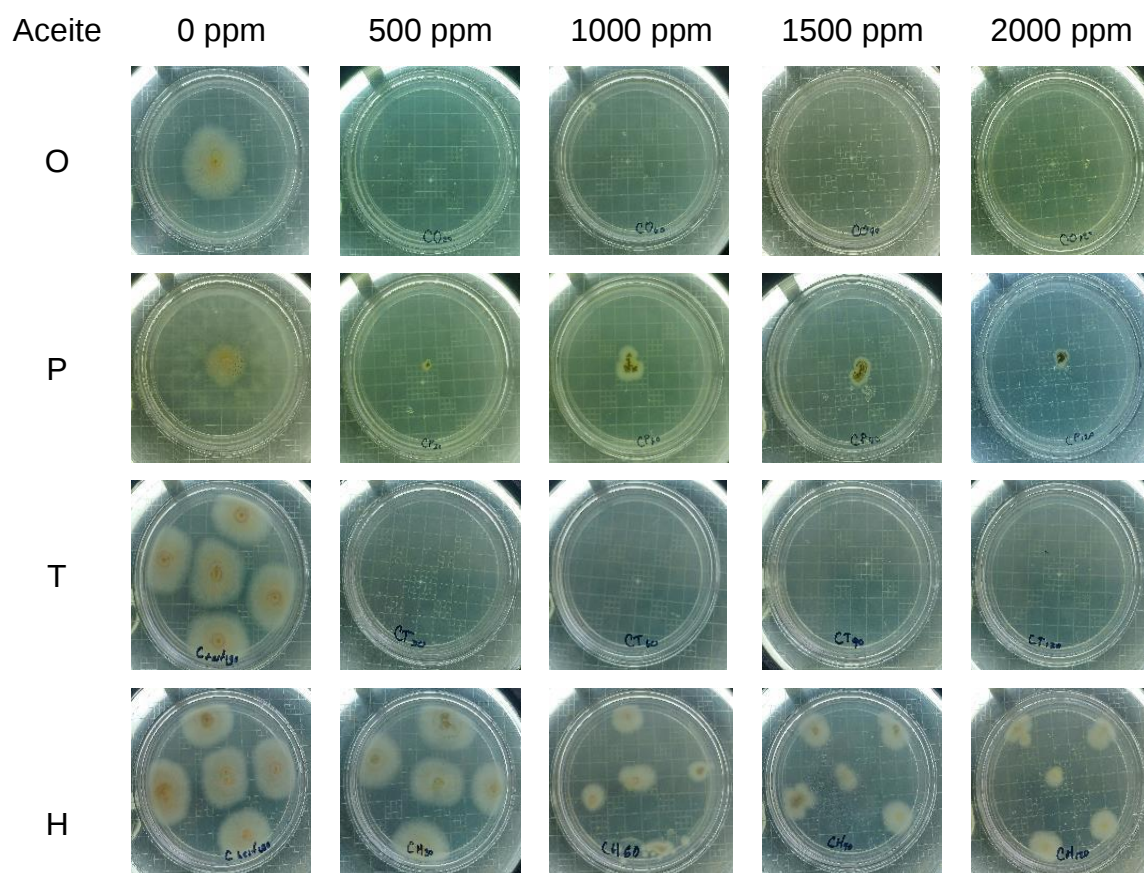


Figura 3. Efecto de las concentraciones de aceites esenciales en el desarrollo de *C. gloeosporioides* después de 5 d de crecimiento. O, P, T y H: aceites esenciales de orégano, pirul, tomillo e hinojo.

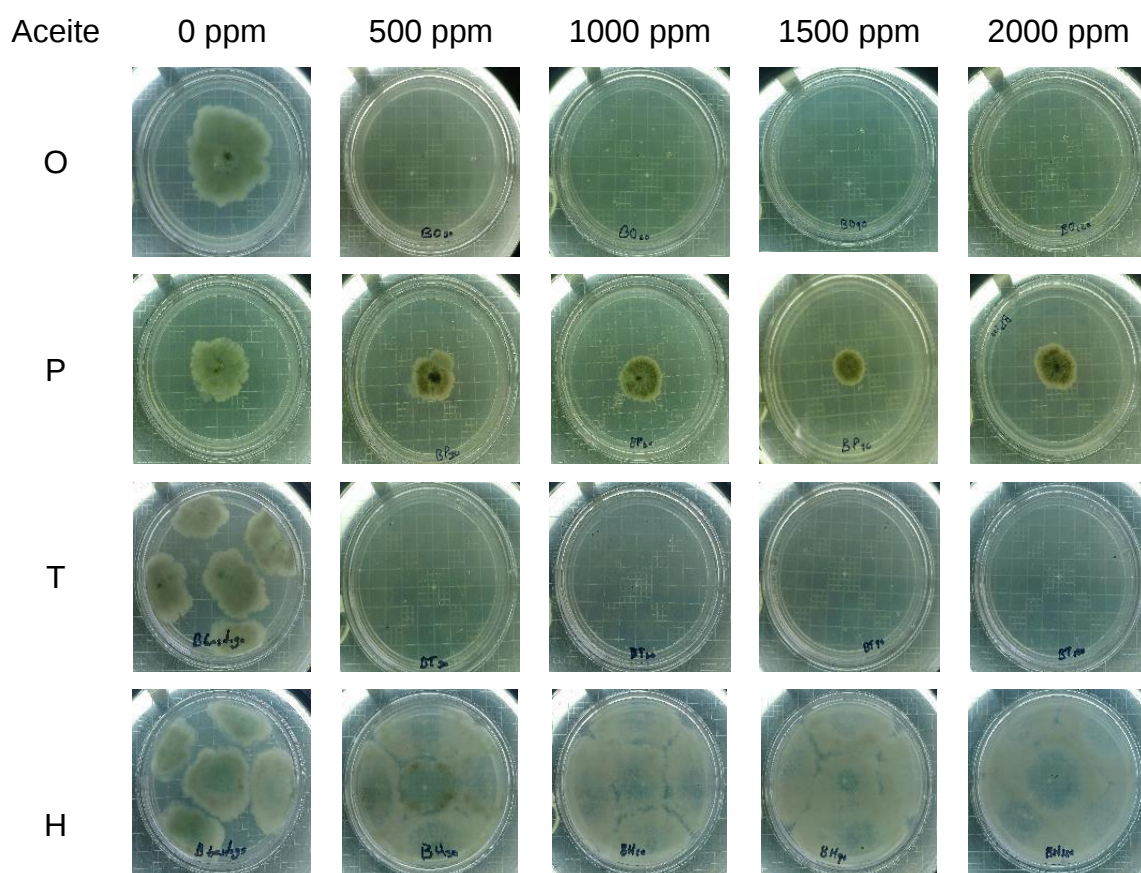


Figura 4. Efecto de las concentraciones de aceites esenciales en el desarrollo de *B. theobromae* después de 5 d de crecimiento. O, P, T y H: aceites esenciales de orégano, pirul, tomillo e hinojo.

El aceite esencial de orégano también cuenta con alta capacidad anti-fúngica, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Valero-Galván et al. (2008), quienes observaron que *Phymatotrichopsis omnivora* presentó inhibición completa con concentraciones de 150, 200, 250, 500 ppm de aceite esencial. Pontigo-Suárez et al. (2016) observaron el efecto inhibitorio del aceite esencial de orégano de *C. gloeosporioides* en papaya “Maradol”, en donde con concentraciones de 300 ppm se inhibía el crecimiento del hongo durante 10 d de evaluación. García-Camarillo et al. (2006) observaron que con 250 ppm de aceite esencial de canela y orégano se inhibía el crecimiento total del hongo

Aspergillus flavus. Abd-Alla y Haggag (2013) encontraron que el aceite de naranja en todas las concentraciones probadas causó reducción significativa del crecimiento lineal fúngico si se compara con otros aceites esenciales probados. A baja concentración de aceite de naranja (50 µg/mL) se causó 10.0 % de reducción en el crecimiento de hongos, mientras que con 100 (µg/mL) se causó 72.2 % y a alta concentración probada (150 µg/ml) se causó una reducción completa en micelio de crecimiento lineal de hongos patógenos. Chala et al. (2014) encontraron que el aceite de hierba de limón también poseía una actividad antifúngica muy fuerte contra *C. gloeosporioides* ya que producía una inhibición del 100 % del crecimiento fúngico a concentraciones de 0.5, 0.75 y 1 %.

5.5.3 Bioensayo *in situ*

El estudio *in situ* se realizó utilizando los tratamientos que presentaron mayor efectividad para inhibir el desarrollo *in vitro* de *C. gloeosporioides* y *B. theobromae*. Se usaron recubrimientos 50-50 (solución guar-cera) con 2000 ppm de aceite esencial de tomillo. La elección de este aceite se basó en el costo, ya que el aceite esencial de tomillo se produce a un costo más bajo que el aceite esencial de orégano. El estudio *in situ* se realizó utilizando concentraciones de 500, 750, 1500 y 2000 ppm, en forma similar al estudio *in vitro*, para determinar la concentración más efectiva para inhibir el de *C. gloeosporioides* y *B. theobromae*. En el Cuadro 4 se muestran los porcentajes de infección e índices de severidad de daño causado por *C. gloeosporioides* y *B. theobromae* en frutos de mango y la Figura 5 muestra en imágenes el efecto encontrado en cada caso. El tratamiento que tuvo un efecto significativo en la inhibición de los hongos *C. gloeosporioides* y *B. theobromae* fue el contenía 2000 ppm de aceite esencial de tomillo, donde a los 5 d de evaluación no se observó presencia de los patógenos, datos que se asemejan a los obtenidos por Duduk et al. (2015), quienes, con una concentración de 153 ppm, los volátiles de aceite esencial de tomillo evitaron el desarrollo de antracnosis, ya que no se presentaron síntomas en la fruta inoculada. El tratamiento con aceite

esencial (EO) de tomillo también redujo la infección de la fruta de fresa causada por *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer* en experimentos *in situ*, y la antracnosis de aguacate causada por *C. gloeosporioides*. Karimi et al. (2016) encontraron que el porcentaje de incidencia de antracnosis en fresas tratadas con EO de eneldo disminuyó significativamente en comparación con el control inoculado no tratado. La incidencia de la enfermedad disminuyó significativamente la antracnosis a partir de la concentración de 500 ppm en comparación con el control inoculado no tratado. Chemat et al. (2012) explica que el timol (compuesto encontrado en el aceite esencial de tomillo) es reconocido como el precursor de la alteración de las mitocondrias y el desgarramiento de la membrana plasmática, lo cual explica la alta inhibición microbiana que tiene el EO de tomillo.

Cuadro 4. Porcentajes de infección e índices de severidad inducidas de hongos patógenos en frutos de mango tratados con recubrimientos a base de goma guar, cera de candelilla y aceite esencial de tomillo. Todos los tratamientos usaron recubrimientos con 50 % de solución de goma guar y 50 % de mezcla cera de candelilla y ácido oleico.

Tratamiento	<i>Collectotrichum gloeosporioides</i>		<i>Botryodiplodia theobromae</i>	
	Infección (%)	Índice de severidad	Infección (%)	Índice de severidad
Testigo	0 a ^t	0 d	10.9 a	0.75 ^a
500 ppm	1.25 a	0.75 a	16.8 ab	2b
750 ppm	0.75 a	0.5 b	3 c	0.5c
500 ppm	0.25 a	0.25 c	0 c	0d
2000 ppm	0 a	0 d	0 c	0d
DMSH	1.2516	0.1011	3.2319	0.2342

^t Medias con la misma letra dentro de las columnas son iguales con base en la prueba (Tukey, $\alpha=0.05$); DMSH: diferencia mínima significativa honesta.



Figura 5. Efecto del aceite esencial de tomillo en frutos de mango inoculados con *C. gloeosporioides* y *B. theobromae* a cinco días de crecimiento.

Sarkhosh et al. (2017). encontraron que el aceite esencial de ajedrea y tomillo en la dosis más baja (500 ppm) produjo una reducción de 26.5 a 25.1 % en las lesiones alrededor de las heridas inoculadas con *C. gloeosporioides* en comparación con los aceites esenciales de canela, lavanda y menta. Feng y Zheng (2007) encontraron que los tomates cherry tratados con 500 ppm de aceite de casia tuvieron un 34.2 % menos de contaminación en comparación con el control y que el tratamiento con aceite de casia no causó trastornos visibles y mal olor a las frutas después de 5 d de almacenamiento. Abd-Alla y Haggag (2013) mostraron que, a baja concentración (250 ppm), el aceite de mostaza causó una gran reducción (79.9 %) de la incidencia de antracnosis de frutas de mango, seguido de aceite de albahaca con 66.7 % de reducción de la incidencia de la enfermedad, mientras que el aceite de naranja y limón mostró un efecto moderado. A una concentración alta de (1000 ppm), el aceite de

albahaca causó una reducción del 94.4 % de la incidencia de la enfermedad, seguida de aceites de naranja y mostaza en un 91.3 y un 90.0 %, respectivamente.

5.6 Conclusiones

Los aceites esenciales de orégano y tomillo fueron los más efectivos en el control de *C. gloeosporioides* y *B. theobromae* bajo condiciones *in vitro* a partir de 500 ppm. El tratamiento en el que se utilizó el recubrimiento a base de goma guar y cera de candelilla con el aceite esencial de tomillo a 2000 ppm fue el que mejor efecto inhibitorio mostró ante *C. gloeosporioides* y *B. theobromae* en las pruebas *in situ*. Los resultados del presente estudio mostraron que el aceite esencial de tomillo es una fuente potencial para reducir las pérdidas postcosecha inducidas por *C. gloeosporioides* y *B. theobromae* en frutos de mango.

5.7 Literatura citada

- Abd-ALLA M. A., Haggag W. M. (2013). Use of Some Plant Essential Oils as Post-harvest Botanical Fungicides in the Management of Anthracnose Disease of Mango Fruits (*Mangifera indica* L.) Caused by *Colletotrichum Gloeosporioides* (Penz). International Journal of Agriculture and Forestry. 3(1): 1-6
- Alvarado H. A. M., Barrera N. L. L., Hernández L. A. N., Velázquez V. M. G. (2011). Actividad antifúngica del quitosano y aceites esenciales sobre *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.:Fr.) Vuill., agente causal de la pudrición blanda del tomate. Rev. Colomb. Biotecnol. 8 (2): 127-134.
- Anderson, B.S., Hunt, J.W., Phillips, B.M., Nicely, P.A., Vlaming, V. de, Connor, V., Richard, N., and Tjeerdema, R.S. (2003). Integrated assessment of the impacts of agricultural drainwater in the Salinas River (California, USA). Environmental Pollution 124:523-532.

- Barrera-Necha, L. L., García-Barrera L. J. 2008. Actividad antifúngica de aceites esenciales y sus compuestos sobre el crecimiento de *Fusarium* sp. aislado de papaya (*Carica papaya*). *Revista UDO Agrícola* 8 (1): 33-41.
- Chala A., Getahun M., Alemayehu S., Tadesse M. 2014. Survey of Mango Anthracnose in Southern Ethiopia and In-Vitro Screening of Some Essential Oils against *Colletotrichum gloeosporioides*. *International Journal of Fruit Science*, 14:2. 157-173.
- Chemat S., Cherfouh R., Meklati B. Y., Belanteur K. 2012. Composition and microbial activity of thyme (*Thymus algeriensis genuinus*) essential oil, *Journal of Essential Oil Research*, 24:1, 5-11,
- Cooke, D.E.L., Young, V., Birch, P.R.J., Toth, R., Gourlay, F., Day, J.P., Carnegie, S.F., and Duncan, J.M. 2003. Phenotypic and genotypic diversity of *Phytophthora infestans* populations in Scotland (1995-97). *Plant Pathology* 52:181-192.
- Duduka N., Markovicb T., Vasica M., Dudukc B., Vicoa I., Obradovica A. 2015. Antifungal Activity of Three Essential Oils against *Colletotrichum acutatum*, the Causal Agent of Strawberry Anthracnose. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18 (3), 529-537.
- Feng W., Zheng X. 2007. Essential oils to control *Alternaria alternata* *in vitro* and *in vivo*. *Food Control* 18 (2007) 1126–1130.
- García-Camarillo. E. A., Quezada-Viay, M. Y., Moreno-Lara J., Sánchez-Hernández G., Moreno-Martínez E., Pérez-Reyes, M. C. J. 2006. Actividad Antifúngica de Aceites Esenciales de Canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) y Orégano (*Origanum vulgare* L.) y su Efecto sobre la Producción de Aflatoxinas en Nuez Pecanera [*Carya illinoensis* (F.A. Wangenh) K. Koch]. *Revista Mexicana de Fitopatología* 24(1). 8-12.
- Karimi K., Arzanlou M., Pertot I. 2016. Antifungal activity of the dill (*Anethum graveolens* L.) seed essential oil against strawberry anthracnose under in vitro and in vivo conditions. DOI: 10.1080/03235408.2016.1243999
- Leroux, P. 2003. Mode of action of agrochemicals towards plant pathogens. *Comptes Rendus Biologies* 326:9-21.

- Litz, R.E. 2000. World mango breeding problems and perspectives: A biotechnology overview. Symposium Mango. Control de floración y mejoramiento genético. Apatzingán, Michoacán, México. 26 – 27 abril 2000. pp. 1-7.
- Lizcano G. M. C. 2007. Evaluación de la actividad antifúngica del extracto de tomillo contra *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* y *Sclerotinia sclerotiorum*. Tesis. Pontificia Universidad Javeriana. Bogota D.C. 43-50.
- Mirzaee, M. R., M. Azadvar, and D. Ershad. 2002. The incidence of *Lasiodiplodia theobromae* the cause of fruit and stem end rot of mango in Iran. Iran. J. Plant Pathol. 38: 62-65.
- Montes, B.R. 2000. Evaluación de plantas antifúngicas y su potencial aplicación en la fitosanidad. Memorias XXXV Congreso Nacional de Entomología. Acapulco, Guerrero, México. 11-14 de junio. pp. 835.
- Pérez, M. N., Flores, P. J., García, V. L. y Lozano V. C. 1995. Factores genéticos y ambientales relacionados con la dinámica temporal y efecto de las enfermedades en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Marín, Nuevo León, México. Revista Mexicana de Fitopatología 13 (1): 1-9.
- Pontigo-Suárez A. G., Trejo-Márquez M. A., Lira-Vargas A. A. 2016. Desarrollo de un envase activo con efecto antifúngico y antibacterial con aceite esencial de orégano para conservación de papaya 'Maradol'. 1 (1): 442-447.
- Ramírez-Legarreta, M.R. y Jacobo-Cuéllar, J.L. 2002. Impacto ambiental del uso de plaguicidas en huertos de manzano del noroeste de Chihuahua, México. Revista Mexicana de Fitopatología 20:168-173.
- Sarkhosh A., Schaffer B., Vargas A. I., Palmateer A. J., López P., Soleymani A., Farzaneh M. 2017. Antifungal activity of five plant-extracted essential oils against anthracnose in papaya fruit, Biological Agriculture & Horticulture, DOI: 10.1080/01448765.2017.1358667
- Valero-Galván J., Muñoz-Castellanos L. N., Rivera-Chavira B. E., Rascón-Cruz Q., Silva-Vázquez R., Nevárez-Moorillón G. V. 2008. Aislamiento y control de cepas de hongos asociados a la pudrición texana por medio de aceites

esenciales de orégano mexicano. Centro de Investigación para los Recursos, Naturales. Saltaices, Chihuahua, Chihuahua, México. pp.292-298.

Whalen, M.M., Wilson, S., Gleghorn, C., and Loganathan, B.G. 2003. Brief exposure to triphenyltin produces irreversible inhibition of the cytotoxic function of human natural killer cells. *Environmental Research* 92:213-220.

Recubrimiento biopolimérico en frutos de mango para alargar la vida útil en postcosecha.

Resumen

El mango (*Mangifera indica* L.) es un fruto climatérico que presenta una vida útil muy corta, por lo que, es necesario explorar alternativas tecnológicas, que permitan prolongar su periodo poscosecha, en donde se encuentra la aplicación de recubrimientos poliméricos a frutas de interés comercial, que permitan mejorar sus características fisiológicas y sensoriales. En la presente investigación, se evaluó el efecto de dos recubrimientos poliméricos sobre la calidad de frutos de mango. Los frutos se recubrieron con mezclas de cera de candelilla y goma guar, en proporciones de 50-50 y 30-70 respectivamente, los cuales se almacenaron durante 19 d a 24 ± 0.5 °C a 65 HR; y 37 d a 12 ± 1 °C a 90 HR. Las variables evaluadas fueron pérdida de peso (%), color (L^* , a^* , b^*), firmeza (N), sólidos solubles totales (°Brix) y acidez titulable (%), pH, azúcares totales ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) y azúcares reductores (%), fenoles solubles totales y carotenoides ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Los frutos de mango "Ataulfo" recubiertos con la película a base de goma guar y cera de candelilla presentaron mayor firmeza (28.84 y 25.18 N) y acidez titulable (10.21 y 9.67 %) en comparación con el testigo (16.76 N y 5.55 %). Los recubrimientos poliméricos conservaron las características físico-químicas en los frutos de mango y prolongo la vida útil del mango en 19 d de almacenamiento a temperatura ambiente y 37 d de almacenamiento a temperatura de refrigeración.

Palabras clave: Goma guar, Recubrimiento, Almacenamiento.

Biopolimeric coating in mango fruit in postharvest to enlarge shelf life

Abstract

The mango (*Mangifera indica* L.) is a climacteric fruit that has a very short shelf life, so it is necessary to explore technological alternatives that allow prolonging the post-harvest period, where the application of polymeric coatings to fruits of interest is found. commercial, that allow to improve their physiological and sensorial characteristics. In the present investigation, the effect of two polymeric coatings on the quality of mango fruits was evaluated. The fruits were coated with mixtures of candelilla wax and guar gum, in proportions of 50-50 and 30-70 respectively, which were stored for 19 d at 24 ± 0.5 °C at 65 HR; and 37 d at 12 ± 1 °C to 90 HR. The variables evaluated were weight loss (%), color (L^* , a^* , b^*), firmness (N), total soluble solids (°Brix) and titratable acidity (%), pH, total sugars ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) and reducing sugars (%), total soluble phenols and carotenoids ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$). The mango fruits "Ataulfo" coated with the film based on guar gum and candelilla wax showed greater firmness (28.84 and 25.18 N) and titratable acidity (10.21 and 9.67 %) compared to the control (16.76 N and 5.55 %). The polymer coatings retained the physico-chemical characteristics in the mango fruits and prolonged the useful life of the mango in 19 d at room temperature and 37 d in refrigeration.

Key words: Guar gum, Coating, Storage.

5.8 Introducción

El mango es una de las frutas de origen tropical más apreciadas. Actualmente se cultiva en todos los países de la zona ecuatorial tropical del mundo (Jahurul et al., 2015). En 2016, México fue el quinto productor mundial, con un volumen de 1.88 millones de toneladas desarrolladas en 193,343 ha sembradas y fue el principal exportador a nivel mundial (SAGARPA, 2017). Además, debido a la gran demanda asiática de frutas tropicales, este mercado todavía presenta un gran potencial de crecimiento (SAGARPA, 2017). Sin embargo, las frutas comercializadas especialmente en el mercado internacional requieren productos de alta calidad (Gomes et al., 2010). Por lo tanto, para que el país pueda seguir participando de manera efectiva en ese mercado es necesario utilizar tecnologías que extiendan y garanticen la calidad de la fruta después de la cosecha, junto con una mayor vida útil (Hojo et al., 2009).

A temperatura ambiente, el mango tiene vida de anaquel corta después de la recolección, variando de 6 a 10 d, llegando a 14 d a bajas temperaturas (Yamashita et al., 2001). La alta susceptibilidad del mango a la lesión por frío (Miguel et al., 2011) y a enfermedades postcosecha (Singh et al., 2013) se encuentran entre los principales factores que limitan la distribución y comercialización del producto. En México, las pérdidas postcosecha de mangos son considerables, debido a factores como alta perecibilidad y susceptibilidad a enfermedades y el deterioro fisiológico de la fruta debido a la maduración, lo cual resulta en la consiguiente pérdida de agua, arrugas y marchitamiento, lo que reduce sustancialmente el valor comercial de los frutos (Ayala-Garay et al., 2009; Maldonado-Astudillo et al., 2016).

Los productos naturales son útiles y tienen lugar como enfoque alternativo para retrasar la maduración y reducir el deterioro postcosecha de la fruta (Camatari, 2017). Los revestimientos comestibles se han estudiado para mantener la calidad y extender la vida útil de las frutas. Los revestimientos actúan como una barrera en la superficie de la fruta y controlan la atmósfera interna del gas,

disminuyendo la pérdida de agua y retrasando la maduración de la fruta (Bourtoom, 2008). Se utilizan como manejo postcosecha para retener la calidad de la fruta y minimizar el tamaño de los materiales de embalaje no biodegradables.

Neem et al. (2018) utilizando recubrimientos de goma guar que contenían aceites esenciales de *Nigella sativa*, *Coriandrum sativum*, *Foeniculum vulgare* y *Laurus nobilis*, y observaron que los recubrimientos suplementados con aceites esenciales etanólicos confirieron una mayor retención de la calidad de la fruta en comparación con ambos controles, además de, prolongar la vida útil hasta 24 d, mientras que el control tratado y no tratado decayó después de 10 y 6 d respectivamente.

Klangmuanga y Sothornvita (2018) recubrimientos de nanocompuestos a base de HPMC y aceites esenciales se probaron en mangos cv. Namdokmai Sithong contra la antracnosis, en donde, la vida útil de los mangos recubiertos se extendió a 18 d a 13 ° C. Además, los aceites retrasaron las pérdidas causadas por *C. gloeosporioides*.

Khaliq et al. (2016) investigaron los efectos de los recubrimientos comestibles de goma arábiga (GA) 10 % y quitosán (CH) 1 % sobre las propiedades fisiológicas y bioquímicas de la fruta de mango (*Mangifera indica* L. cv. Choke Anan) y observaron que se redujo significativamente la pérdida de peso que las frutas de control, además que, la aplicación de recubrimiento inhibió efectivamente el aumento de la concentración de sólidos solubles (SSC), la tasa de respiración y la producción de etileno.

La goma guar es un carbohidrato polimerizado comestible que se encuentra en las semillas de las plantas leguminosas *Cyamopsis tetragonolobus* y *C. psolaroides*. Es útil como agente espesante con agua y como reactivo de adsorción y ligador de hidrógeno con superficies minerales y celulósicas. Los recubrimientos a base de goma de guar no contienen compuestos nocivos y son seguros para el consumidor. Los recubrimientos que consisten en goma

guar sólo tienen actividades antibacterianas en los microorganismos contaminantes, pero cuando se combinan con aceites esenciales antimicrobianos, sus funciones antibacterianas resultan muy potenciadas (Rodríguez-Sauceda, 2011). En este contexto, el objetivo de esta investigación fue desarrollar un recubrimiento polimérico a base de goma guar y aceite esencial de tomillo para alargar la conservación de frutos de mango.

5.9 Materiales y métodos

5.9.1 Material vegetal

Se utilizaron frutos de mango provenientes de diversos huertos del municipio de San Pedro Tapanatepec, Oaxaca (16.3672948,-94.2103968). Se cosecharon 300 frutos en estado verde correspondiente a madurez fisiológica y fueron transportados dentro de las siguientes 24 h al lugar de experimentación. Se seleccionaron para el experimento los frutos bien desarrollados en tamaño y con madurez uniformes, libres de plagas, enfermedades, lesiones, hematomas e imperfecciones. Los frutos se lavaron con solución de hipoclorito de sodio al 0.01 % durante 2 min y se secaron al aire a temperatura ambiente. Todos los frutos fueron marcados y pesados.

5.9.2 Organización experimental

Se prepararon dos emulsiones aceite en agua (O/W), donde la parte lipídica contenía ácido oleico y cera de candelilla en una proporción 50-50. La parte hidrofílica era goma guar al 1 % en agua y tween 80® como emulsionante. Además, se ajustó el pH a 7 con bicarbonato de sodio y se adicionó aceite esencial de tomillo en 2000 ppm como agente antimicrobiano. Los tratamientos fueron T1: testigo; T2: emulsiones 50-50 (50 % parte lipídica, 50 % parte hidrofílica y 2000 ppm de aceite esencial de tomillo) y T3: emulsiones 30-70 (30 % parte lipídica, 70 % parte hidrofílica y 2000 ppm de aceite esencial de tomillo), con los cuales se recubrieron los frutos de mango. Los frutos se dividieron aleatoriamente en seis lotes de 30 unidades cada uno. Dos de ellas

se asignaron a T1, otras dos a T2 y los dos restantes a T3. Los tratamientos se colocaron en cajas de plástico (40 × 30 × 12 cm). La mitad de los frutos de cada tratamiento se colocaron a 25 (±0.2) °C y la otra mitad a 13 (±1) °C, para conducir almacenamientos por 19 y 37 d, respectivamente. Se evaluaron cada 3 d los tratamientos de 25 °C y cada 5 d los tratamientos de refrigeración. Tres frutos de cada tratamiento fueron muestreados en cada intervalo. Con objeto de reproducir las condiciones de manejo comercial, los frutos se manejaron a granel en sus cajas y de allí se tomaron las unidades para evaluación.

5.9.3 Variables respuesta

De cada bloque se marcaron y pesaron los frutos antes del almacenamiento. Los mismos frutos se pesaron cuando se retiraron del almacenamiento y se determinó pérdida acumulada de peso (%) en relación a la condición inicial. Para ello se usó una balanza granataria (Ohaus, USA) con 0.1 g de resolución.

Se midió color en la cáscara de los frutos con un colorímetro MiniScan XE Plus (HunterLab, serie 5348), con iluminante D65 y ángulo de observador de 10°, utilizando una escala CielAB (L*, a*, b*). Las mediciones se realizaron en tres puntos de los y los resultados, se expresaron, en promedio, como luminosidad (L*), cromaticidad (C*) y ángulo de matiz (H*), expresadas estas últimas mediante las Ecuaciones (1) y (2), respectivamente (McGuire, 1992).

$$C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{0.5} \quad (1)$$

$$H^* = \arctan^{-1}(b^*/a^*) \quad (2)$$

Se midió la velocidad de respiración como producción de CO₂ con un método estático (García-Cruz et al., 2016) Los frutos se colocaron en recipientes herméticos de 1 L y se tomaron 4 mL de gas del espacio de cabeza después de 1 h. La muestra se colocó en tubos de 7 mL (Vacutainer Becton-Dickinson, USA), se le adicionó 3 mL de una solución de NaHCO₃ incorporada con azul de bromotimol al 0.02 % hasta transmitancia de 33 % y se agitó por 15 s. Se leyó transmitancia (%T) en un espectrofotómetro (DR 500 UV-VIS HACH) a 615 nm.

Con base en la masa de los frutos (kg), el tiempo de estancia en el recipiente (h) y el cambio de concentración de CO₂ se midió velocidad de respiración en mL kg⁻¹ h⁻¹.

Se midió firmeza de la pulpa de los frutos mediante el uso texturómetro (TA-XT2i Stable Micro Systems, UK), en la zona ecuatorial de las unidades, con un aditamento esférico de 5 mm de diámetro y acoplado a una computadora. Se utilizó una rutina de medición de fuerza en compresión con velocidad de ensayo de 5 mm s⁻¹ y distancia de deformación de 1 mm. Los resultados se expresaron en Newtons (N).

Se midió concentración de sólidos solubles totales usando un refractómetro (ALLA FRANCE modelo ATC) con escala de 0-32 %. Se tomó una gota de jugo obtenida mediante exprimido de la pulpa y se colocó en el instrumento para tomar la lectura de SST en °Brix.

Se midió acidez titulable (AT) en muestras de 5 g de la pulpa de los frutos que fueron molidos con 100 mL de agua destilada y filtrado. Se tomaron 10 mL de la solución y se titularon con NaOH 0.1 N con fenolftaleína como indicador. El valor de AT se determinó mediante la Ecuación (3), donde v es gasto de NaOH y m la cantidad de pulpa de mango molida (Tiwari et al., 2008).

$$AT = \frac{v \times 0.067 \times 0.1 \times 100}{m} \quad (3)$$

Para medir pH, se usó un potenciómetro (Conductronic modelo pH120, Micro precision calibration Inc. USA) usando 10 mL de muestra, que se colocaron en un vaso 50 mL. Las lecturas se registraron tres veces para cada muestra.

La concentración de azúcares totales se determinó a través de una curva de calibración de la absorbancia en función de la concentración para la cual se prepararon soluciones de 0.06 a 32 µmol utilizando glucosa como estándar. Se mezcló en tubos, 100 µL de muestra con 0.5 mL de fenol al 5 % y 2.5 mL de H₂SO₄, se dejaron reposar por 15 min y se analizaron en un espectrofotómetro

(DR 500 UV-VIS HACH) a una longitud de onda de 490 nm. Los ensayos se realizaron por triplicado para obtener valores promedio.

En adición se midió el porcentaje de azúcares reductores (% ART), para lo cual se pesaron 20 g de pupa de mango, que se licuaron en 100 mL de agua destilada, se agregó 1 mL de las soluciones clarificantes (acetato de zinc y ferrocianuro de potasio). Se permitió reposo por 5 min, la mezcla se filtró y se aforó a 100 mL. Se transfirió la solución clarificada a una bureta y se tituló con los reactivos de Fehling, que consistía en 5 mL solución A, 5 mL solución B y 50 mL de agua destilada (Solución A: sulfato de cobre pentahidratado, Solución B: tartrato doble de sodio y potasio e hidróxido de sodio). Las muestras se evaluaron por triplicado y se realizaron los cálculos con la Ecuación (4), donde T es titulación de la solución A + B en g de azúcar invertido, V es volumen en mL de la solución problema gastados en la titulación de 10 mL de la solución A + B, P es peso de la muestra en gramos.

$$\%ART = \frac{\frac{250 \times T}{V} \times 100}{P} \quad (4)$$

Se evaluó el contenido de fenoles solubles totales (FST) con el método de Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965). Se preparó una solución del reactivo de Folin-Ciocalteu (FC) 1 N. Se mezclaron 250 µL (0.25 mL) de esta solución FC con 100 µL del extracto en un tubo de ensayo y se dejaron reaccionar durante 6 min. Después se neutralizó la mezcla con 1.25 mL de una solución de Na₂CO₃ al 19% y el volumen se ajustó a 3 mL con agua destilada. Se aplicó para homogeneizar su contenido y se permitió reposo en oscuridad durante 90 min para estabilización. Se midió absorbancia a 760 nm en espectrofotómetro (DR 500 UV-VIS HACH).

La cuantificación de FST se apoyó en una curva estándar de ácido gálico y los resultados se expresarán en µg equivalentes de ácido gálico por mL de extracto (µg EAG/mL).

Se midió el contenido de carotenoides. Se pesaron 5 g de pulpa de los frutos y se agregó 15 mL de cetona pura. Se permitió reposo por 24 h en oscuridad. Luego se vació el contenido en un mortero y se maceró la muestra para favorecer la extracción de los pigmentos por solubilización en la acetona. Se transfirió la parte líquida a un embudo de separación y se le agregó más acetona al material residual sólido hasta dejarlo incoloro. Ya en el embudo, se agregaron 30 mL de hexano y se agitó. Se dejó reposar hasta ver la separación de dos fases de diferente densidad. Se separó la parte inferior y se le agregó agua destilada al embudo para lavar los restos de acetona que quedaron. Finalmente, se aplicó filtración con una trampa de sulfato de potasio anhidro y la fase líquida obtenida se guardó en viales de 50 mL. Se midió absorbancia de las muestras a 760 nm y se cuantificó la cantidad de carotenos mediante la siguiente Ecuación (5).

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{g}} = \frac{A \times V (\text{mL}) \times 106}{\epsilon \times 100 \times W} \quad (5)$$

Análisis de datos

La organización se condujo en forma congruente con un arreglo en parcelas divididas, donde la parcela grande estuvo constituida por la temperatura con dos niveles (13 y 25 °C) y la parcela chica por el tipo de recubrimiento con tres niveles (T1, T2 y T3). Los datos se sometieron a un análisis de varianza complementado con rutinas de comparación de medias de tratamiento con el estadístico de Tukey, usando un nivel de significancia de 0.05. Todos los análisis se realizaron con apoyo del programa SAS (SAS Institute Inc., 1999).

5.10 Resultados y discusión

El efecto de la temperatura y la aplicación de recubrimientos poliméricos fueron significativos (Tukey, $\alpha=0.05$) en los atributos de los frutos de mango “Ataulfo” (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores percentiles de la distribución de Fisher ($F_{0.05}$) con ($\alpha=0.05$) y valores de F correspondientes al análisis de varianza de la aplicación de recubrimientos poliméricos con aceite esencial de tomillo en frutos de mango.

FV	GL	$F_{0.05}$	P	L	C	°h	R	F	SST
bloque	9	2.15	0.90	2.89*	1.51	6.06*	2.32*	33.2*	11*
temp	1	4.11	18.6*	0.01	1.75	0.05	0.90	21.4*	0.97
rec	2	3.26	0.48	23.8*	14*	10.5*	3.60*	26.1*	1.78
temp*rec	2	3.26	0.38	0.86	3.65*	1.38	0.38	1.01	0.87
bloque*temp	9	2.15	2.37*	0.51	0.74	0.88	4.36*	1.83	2.19*
Error	36								
CV			46	4.54	9.05	44.8	49.1	23	13.1
Media			4.18	65.2	47.4	102	80.3	23.6	16
			AT	pH	AzTot	AzRed	FST	Carot	
bloque	9	2.15	32.1*	1.67	12.6*	14.5*	9.40*	6.30*	
temp	1	4.11	0.81	4.55*	0.01	0.01	4.52*	2.78	
rec	2	3.26	49.3*	18.7*	28.6*	4.99*	0.78	11.1*	
temp*rec	2	3.26	8.12*	8.03*	0.33	0.61	4.71*	1.82	
bloque*temp	9	2.15	1.24	0.39	0.65	1.63	5.32*	4.19*	
Error	36								
CV			19.2	20.4	33	26.6	17.3	45.9	
Media			8.48	3.40	2.75	1.17	0.006	6.21	

FV: Fuente de variación; temp: Temperatura; rec: Recubrimiento; CV: Coeficiente de Variación; GL: Grados de libertad; P: Peso; R: Respiración; F: Firmeza; SST: Sólidos Solubles Totales; AT: Acidez Titulable; AzTot: Azúcares Totales; AzRed: Azúcares Reductores; FST: Fenoles Solubles Totales y Carot: Carotenoides

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las variables evaluadas y en algunas de las fuentes de variación: bloque, temp, rec y la variación entre estas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias de pérdida acumulada de peso, luminosidad (L*), cromaticidad (C*), ángulo de matiz (H*), actividad respiratoria y firmeza correspondientes a frutos de mango manejados a dos temperaturas y con distintos recubrimientos a lo largo de un almacenamiento en postcosecha.

Fuente de variación	Pérdida de peso (%)	Color			Respiración (mL/kg h)	Firmeza (N)
		L*	C*	H*		
Condición térmica (T)						
25 °C	10.22 a	65.22 a	48.16 a	102.95 a	72.48 a	20.354 b
ES	0.68	0.21	0.28	2.78	1.23	0.21
13 °C	6.16 b	65.17 a	46.69 a	100.29 a	88.06 a	26.829 a
ES	0.74	0.25	0.30	2.51	1.33	0.23
DMSH	1.47	1.55	2.25	23.82	33.24	2.84
CV	8.28	4.54	9.05	14.76	9.08	6.97
Tipo de recubrimiento (R)						
Testigo	8.875 a	68.9225 a	51.509 a	67.43 b	101.64 a	16.756 b
ES	0.54	0.22	0.29	1.51	1.28	0.21
50-50	7.387 a	63.3560 b	44.818 b	133.27 a	50.01 b	28.839 a
ES	0.69	0.24	0.27	2.61	1.15	0.20
30-70	8.308 a	63.3090 b	45.940 b	104.17 a	89.16 ab	25.180 a
ES	0.90	0.23	0.30	3.83	1.42	0.24
DMSH	2.17	2.29	3.32	35.16	49.07	4.19
CV	8.28	4.54	9.05	14.76	9.08	6.97
Interacciones						
R×T	0.6773	0.4312	0.0359*	0.2652	0.6887	0.6887

DSH: diferencia significativa honesta. ES: Error Estándar. CV: coeficiente de variación (%). Letras diferentes al interior de cada factor de variación indican diferencia significativa (Tukey, 0.05). Los símbolos * indican interacción significativa. FV: factor de variación.

5.10.1 Pérdida acumulada de peso

Los efectos del almacenamiento en la pérdida de peso no fueron significativos (Tukey, $\alpha=0.05$) en los frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento a diferentes temperaturas (Figura 6).

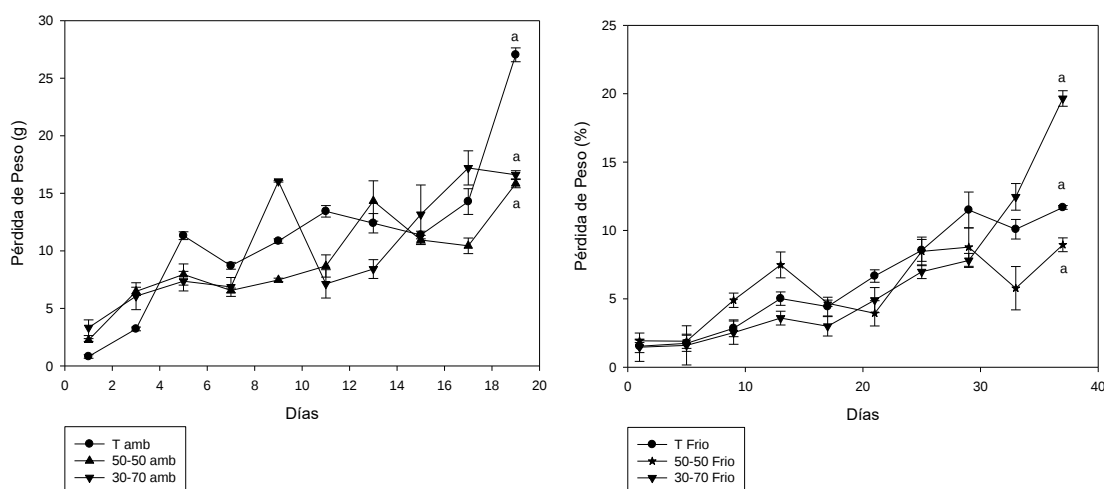


Figura 6. Pérdida de peso en Mango “Ataulfo” con recubrimientos poliméricos almacenados: A: 19 días a $24^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ a 65 % H.R. ± 2 y B: 37 días a $12^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ a 90 % H.R. ± 2 . Los símbolos representan la media para $n=3$.

Se tiene que, en promedio, el porcentaje de pérdida de peso en almacenamiento a temperatura ambiente es de 9 % para el control y de 7 % para cada recubrimiento y para almacenamiento en refrigeración es de 4.7 para el control, 3.5 para el recubrimiento 50-50 y 9.1 para en recubrimiento 30-70 en 19 y 37 días de almacenamiento. Estos datos se comparan con lo obtenido por Estrada-Meza et al. (2015) en donde obtuvieron una pérdida del 2.6 % en su control y 2.7 % en los recubrimientos de pectina cítrica y almidón de Yuca en mango cv criollo. Moalemiyan et al. (2012) encontraron que en mango cv ataulfo después de 6 días de almacenamiento a temperatura ambiente el control obtuvo un 6.3 % de pérdida de peso y los frutos recubiertos un 4.4%. Camatari et al. (2017) encontraron que después de nueve días de almacenamiento a 24°C los tratamientos de quitosano tuvieron en promedio una pérdida de peso de

4.9 % y el control de 6.03, también mencionan que las concentraciones de quitosano menores a 0.25 % no reducen la pérdida de peso del mango.

Rizwana et al. (2013) encontraron que en mango “langra” almacenados en dos temperaturas (25 y 4 °C) obtuvieron pérdidas de 5.03 en el control (sin recubrimiento) y 2.53 % de pérdida de peso en el tratamiento con el recubrimiento para la temperatura de 25°C y en el almacenamiento de refrigeración se obtuvo 6 % para el control (sin recubrimiento) y 4.1 % para el recubrimiento.

5.10.2 Grados Hue (°hue)

Dependiendo del cultivar, el color de la cáscara de las frutas de mango cambia en la maduración de verde oscuro a verde oliva, con tonos a veces rojizos, naranjas o amarillentos. La evaluación del color de la piel del mango está influenciada por los tiempos de recubrimiento y almacenamiento y uno de los efectos beneficiosos del recubrimiento es el retraso en la coloración de los mangos (Figura 8).

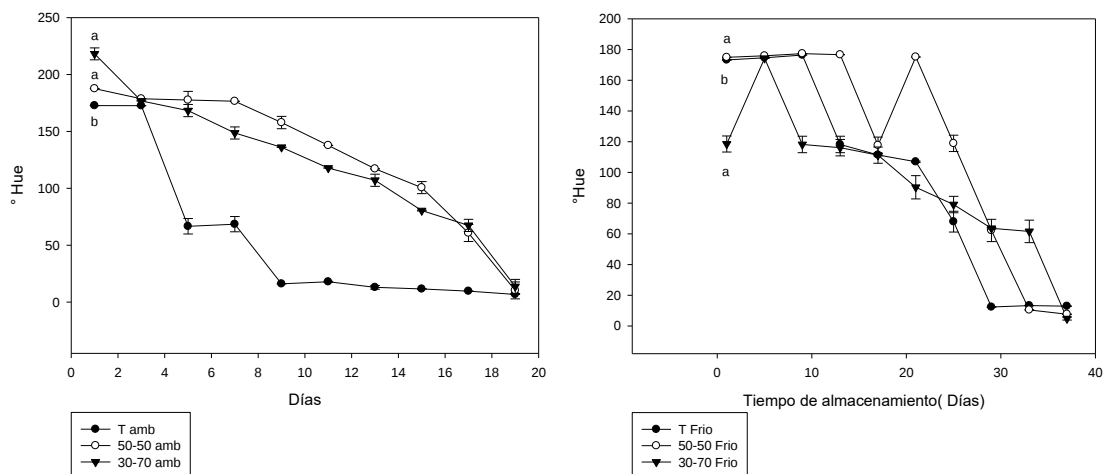


Figura 7. Cambios en el ángulo de matiz de la piel de mangos “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C $\pm$ 0.5 °C a 65 % H.R. $\pm$ 2 y, b) 37 días a 12 °C $\pm$ 1 °C a 90 % H.R. $\pm$ 2. Los símbolos representan la media para n=3.

El valor de °Hue fue disminuyendo a través del tiempo de almacenamiento, lo que se traduce en un retraso en la degradación de la clorofila, se observa en la figura 7, como el testigo tuvo una caída de tono (°hue) muy pronunciada, sin embargo, en recubrimientos la degradación fue más lenta. Se observa un efecto significativo entre los recubrimientos y el testigo, sin embargo, no hay diferencia significativa entre recubrimientos (Tukey, $\alpha=0.05$). Cosme-Silva et al. (2017) encontraron que recubrimientos de quitosano en frutos de mango cv “Palmer” con 20 días de almacenamiento mostraron cambios lentos de color en comparación con el testigo. Por lo contrario, Klangmuang & Sothornvit (2018) encontraron que utilizando hidroxipropilmetilcelulosa como recubrimientos en frutos de mango cv Namdokmai Sithong no generaba cambios en el color en los frutos, en comparación con el cambio del testigo. Carrillo-López et al. (2000) encontraron que con recubrimientos de poliéster de sacarosa “Semperfresh” en mangos cv “Haden” los cambios color se no presentaban cambios uniformes en el fruto.

5.10.3 Luminosidad

Los resultados de los diferentes cambios de color en la piel de mango se ven en la Figura 8.

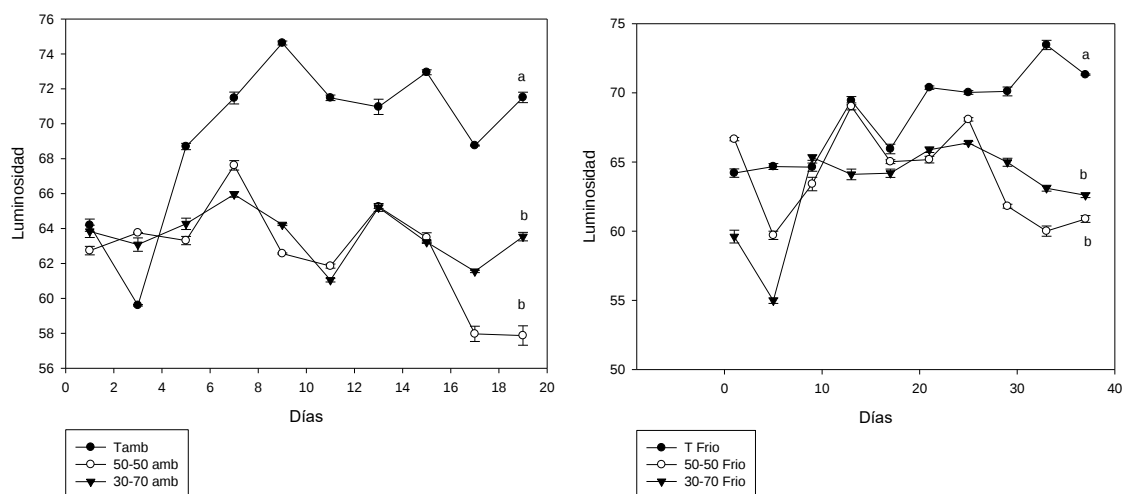


Figura 8. Cambios en la luminosidad de la piel de mangos “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C $\pm$ 0.5 °C a 65 % H.R. $\pm$ 2 y, b) 37 días a 12 °C $\pm$ 1 °C a 90 % H.R. $\pm$ 2. Los símbolos representan la media para n=3.

El valor L aumentó con el tiempo de almacenamiento, y debido a que es una medida del color en el eje claro-oscuro, este aumento demostró que el color de la piel se estaba volviendo más brillante (el tejido tomaba un tono más claro). Los valores de luminosidad de las frutas recubiertas fueron más bajos que los de las muestras de control y cambiaron a velocidades mucho más lentas. Maolemiyan et al. (2012) mencionan que el cambio de color hacia un valor L es indicativo de que la claridad de las muestras se reduce o aumenta con el paso del tiempo. Djioua et al. (2010) mencionan que una disminución en el valor L, que es evidente por la pérdida de brillo, es un indicador de pardeamiento en frutas.

5.10.4 Cromaticidad

En la figura 9 se presentan los valores de la variación de los valores de cromaticidad. El croma (C^*) es un parámetro que mide la pureza, intensidad o saturación de un color en una escala de 0 a 100, donde 100 expresa la mayor pureza, estaría indicando que mientras menos puro o saturado es un color, más descolorido y grisáceo es.

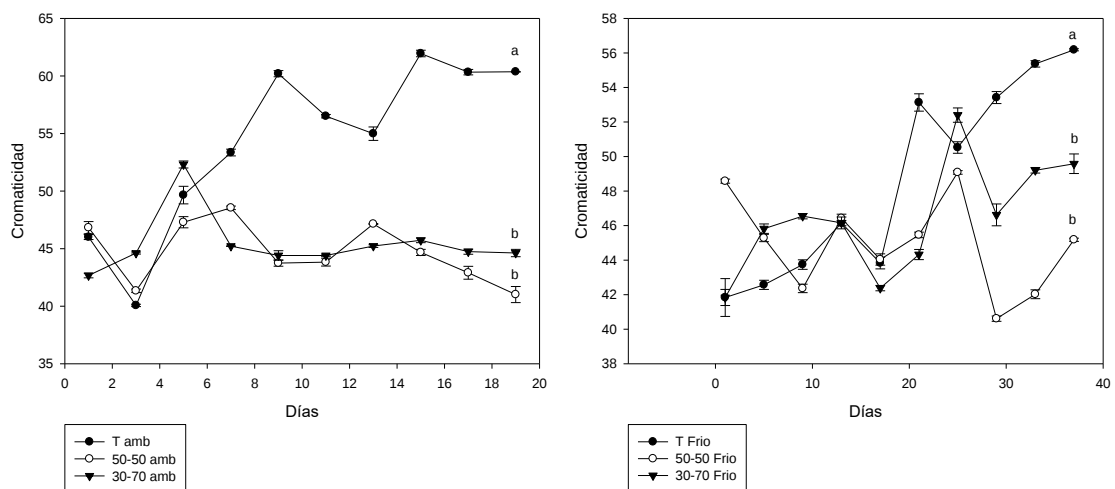


Figura 9. Cambios en la cromaticidad de la piel de mangos “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C $\pm$ 0.5 °C a 65 % H.R. $\pm$ 2 y, b) 37 días a 12 °C $\pm$ 1 °C a 90 % H.R. $\pm$ 2. Los símbolos representan la media para n=3.

Jha (2010) señala que los parámetros de calidad interna del mango se correlacionan con los valores de color externos y se pueden predecir satisfactoriamente. Siller-Cepeda et al. (2010) mencionan que el color externo de los frutos de mango no debería considerarse como factor de calidad, ya que se pueden presentar variedades de mango que no desarrollan un color atractivo en el epicarpio, pero sí un excelente sabor.

5.10.5 Respiración

El proceso de maduración en las frutas a menudo se caracteriza por un aumento significativo en el proceso respiratorio seguido de cambios metabólicos intensos, un aumento en la velocidad de oxidación de los sustratos, mediado principalmente por las oxidasas mitocondriales y, como resultado, hay un flujo glicolítico creciente que produce aumentos en Niveles de ATP y aumentos en el pool de energía (Kader, 2002).

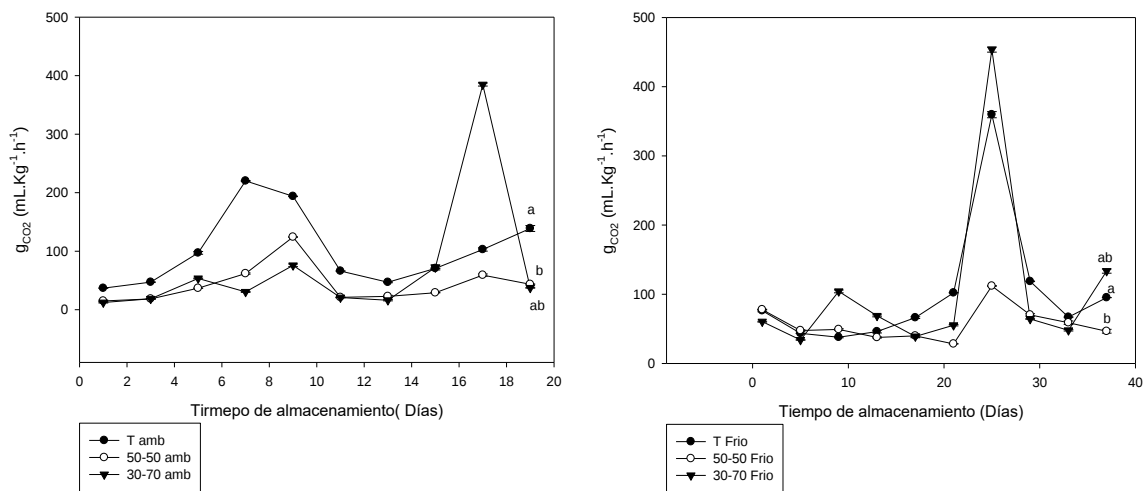


Figura 10. Tasa de respiración de mangos “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a $24^{\circ}C \pm 0.5^{\circ}C$ a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a $12^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$ a 90 % H.R. ± 2 . Los símbolos representan la media para $n=3$.

Los frutos presentaron una producción de CO_2 característico de frutos climatéricos, con una actividad respiratoria de máxima de $384 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ que se presentó en el recubrimiento 30-70 en almacenamiento a temperatura ambiente. En el almacenamiento en refrigeración la actividad respiratoria máxima la presentó el mismo recubrimiento con $453.647 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. En el análisis estadístico se muestra existe diferencia significativa entre el testigo y los recubrimientos aplicados (Tukey, $\alpha=0.05$). Los resultados obtenidos fueron similares a los reportado por Siller-Cepeda et al. (2009) en donde encontraron que en 12 cultivares de mango agrupados en tres grupos de maduración (Temprana, Intermedia y Tardía) había tasas de respiratoria entre $40\text{-}71 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Moalemiyan et al. (2012) encontraron que en mango “Ataulfo” la tasa de respiración incremento en el testigo de un valor inicial de $390 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ hasta un valor máximo de $470 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ en el día 4, y luego disminuyó a $360 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ el día 6; mientras que en los recubrimientos se obtuvo que la tasa de producción de CO_2 comenzó a $270 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ y aumentó gradualmente a $300 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ en el día 3, luego disminuyó a $180 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ en el día 11. Camatari et al. (2017) menciona que la tasa de respiración del mango “Tommy Atkins” con el recubrimiento de 0.5 % almidón de yuca y 0.25 % de quitosano, fue efectivo en la reducción de la tasa respiratoria en comparación con el testigo, en donde el testigo obtuvo una tasa de respiración máximo de $900 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ y el recubrimiento obtuvo $500 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Cosme-Silva et al. (2017) encontraron que el quitosano al 3 % retraso el pico climatérico del día 4 al día 20 de almacenamiento del fruto y se podría relacionar con la aparición de enfermedades.

5.10.6 Firmeza

La firmeza de la fruta es un atributo importante que dicta la vida y la calidad de la fruta después de la cosecha, porque tiene un impacto directo en la exportación del producto. La maduración de los frutos de mango se caracteriza por una pérdida de firmeza debido a la digestión de la pared celular por pectinesterasa, poligalacturonasa y otras enzimas.

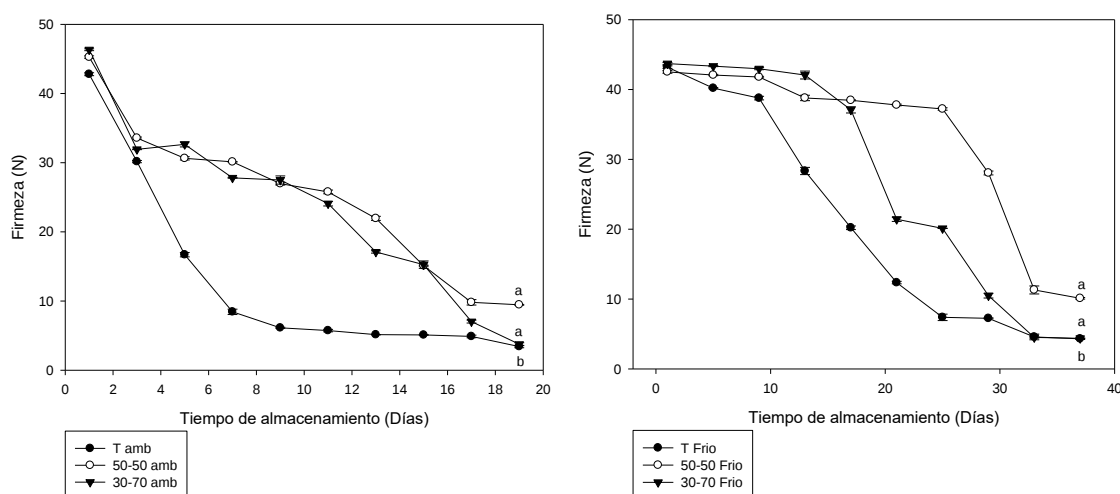


Figura 11. Firmeza de mangos “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R. ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.

La figura 11 muestra los cambios de firmeza en función al tiempo de almacenamiento de los mangos recubiertos y el testigo; en donde la mayor disminución de firmeza se presentó en el testigo en almacenamiento a temperatura ambiente y refrigeración, mientras que los recubrimientos en las mismas temperaturas se mantuvieron similares encontrando diferencia significativa entre el testigo y los recubrimientos empleados (Tukey, $\alpha=0.05$). Estrada-Meza et al. (2015) describen que el recubrimiento empleado a base de almidón presentó una pérdida de firmeza de 54 % y el recubrimiento a base de pectina cítrica del 47 % en comparación con el testigo que obtuvo un 58 %.

Cuadro 7. Comparación de medias del contenido de sólidos solubles totales (SST, °Brix), acidez titulable (AT, %), pH, azúcares totales, azúcares reductores, contenido de fenoles solubles totales (FST) y contenido de carotenoides (Carot) correspondientes a frutos de mango manejados a dos temperaturas y con distintos recubrimientos a lo largo de un almacenamiento en postcosecha.

FV	SST	AT	pH	AzTot	AzRed	FST	Carot
<u>Condición térmica (T)</u>							
25 °C	16.30 a	8.67 a	3.59 a	2.74 a	1.18 a	0.067 a	5.60 a
ES	0.28	0.16	0.05	0.18	0.096	0.0037	0.32
13 °C	15.77 a	8.29 a	3.21 b	2.76 a	1.17 a	0.061 b	6.83 a
ES	0.27	0.16	0.04	0.22	0.072	0.0093	0.18
DMSH	1.0972	0.851	0.363	0.476	0.163	0.0006	1.494
CV	6.07	9.17	10.43	9.04	6.58	7.29	11.9
<u>Tipo de recubrimiento (R)</u>							
Testigo	16.05 a	5.5 b	4.17a	4.00 a	1.35 b	0.066 a	8.54 a
ES	0.23	0.15	0.06	0.17	0.09	0.007	0.282
50-50	16.65 a	10.2 a	3.02 b	2.04 b	1.09 a	0.061 a	5.71 b
ES	0.25	0.14	0.03	0.20	0.07	0.007	0.328
30-70	15.40 a	9.67 a	3.00 b	2.21 b	1.08 a	0.065 a	4.39 b
ES	0.34	0.20	0.05	0.22	0.09	0.006	0.143
DMSH	1.6197	1.256	0.537	0.703	0.241	0.0009	2.205
CV	6.07	9.17	10.43	9.04	6.58	7.29	11.9
<u>Interacciones</u>							
R×T	0.4279	0.001*	0.0013*	0.7211	0.5475	0.0153*	0.1761

DSH: diferencia significativa honesta; ES: Error Estándar; CV: coeficiente de variación (%). Letras diferentes al interior de cada factor de variación indican diferencia significativa (Tukey, 0.05). Los símbolos * indican interacción significativa. FV: factor de variación.

Cosme-Silva et al. (2017) encontraron que el quitosano reduce significativamente la pérdida de firmeza del mango, mientras mayor era la cantidad de quitosano, mayor era su reducción de la pérdida de peso, encontrando que la firmeza del recubrimiento de quitosano al 3 % después de

20 días de almacenamiento fue de 43.39 N. Abbasi et al. (2009) utilizaron mango "Summer Bahisht Chaunsa" y lo recubrieron con quitosano, donde la máxima firmeza la consiguieron con recubrimiento con 200 kGy y que se lo atribuyeron a la propiedad de permeabilidad y el efecto de este en las frutas. Carrillo-López et al. (2000) determinaron que los recubrimientos de poliéster de sacarosa "Semperfresh" a diferentes niveles (5,10,15 y 20 g · L⁻¹) fue efectivo para mantener la firmeza de los frutos durante 25 días; además, las frutas no recubiertas siempre fueron menos firmes que las frutas recubiertas. Djioua et al. (2010) mencionan que la pérdida de firmeza no fue influenciada por el recubrimiento y que después de tres días, el control tuvo el 40 % de pérdida de firmeza en comparación del 9 % en promedio que tuvieron los recubrimientos aplicados.

5.10.7 Sólidos solubles totales

Los SST (° Brix) es un índice de madurez importante para las frutas, y los recubrimientos comestibles son efectivos para reducir los SST o, en otras palabras, para disminuir las tasas de maduración. Los cambios en los sólidos solubles de frutas recubiertas y de control con tiempos de almacenamiento se muestran en la Figura 12.

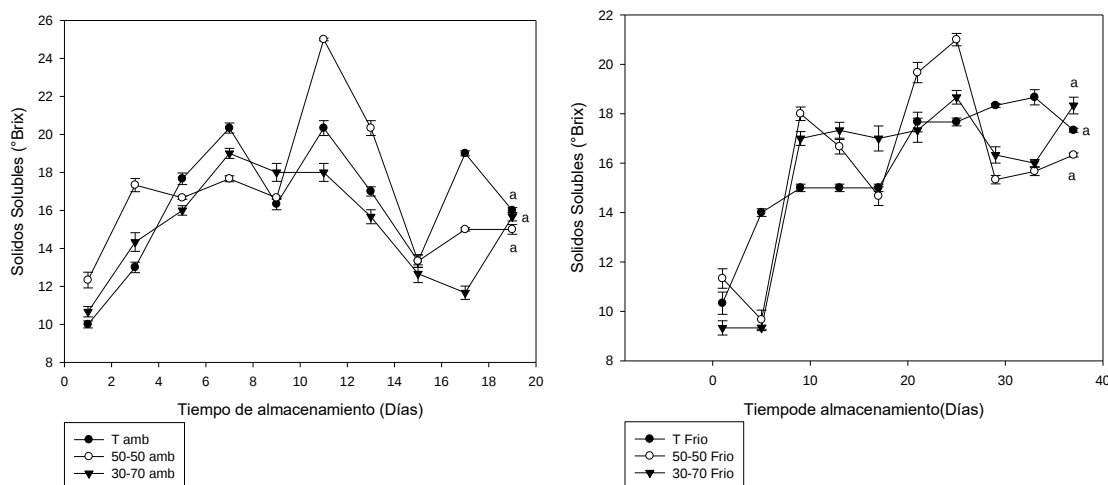


Figura 12. Sólidos Solubles Totales (°Brix) en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $65\text{ \% H.R.} \pm 2$ y, b) 37 días a $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $90\text{ \% H.R.} \pm 2$. Los símbolos representan la media para $n=3$.

El SST aumentó durante el tiempo de almacenamiento para muestras recubiertas y no recubiertas. El incremento se dio de 10 a 16 °Brix en promedio, en el recubrimiento 50-50 fue en donde mayor incremento de sólidos solubles totales se presentó, sin embargo, no existió diferencia significativa en el análisis estadístico (Tukey, $\alpha=0.05$). Moalemiyan et al. (2012) encontraron que mangos cv “Ataulfo” presentaron un incremento de los SST desde el segundo día de almacenamiento que fue de 10 a 17 °Brix en frutos control, sin embargo, en frutos recubiertos el incremento fue más lento y no alcanzo los niveles del control. Abbasi et al. (2009) utilizando frutos de mango "Summer Bahisht Chaunsa" recubiertos con quitosano, determinaron que todos los tratamientos con este recubrimiento aumentaron sus niveles de SST comparado con el control y deducen que pueden deberse a la reducción de la barrera protectora de oxígeno en la superficie de la fruta que inhibe la respiración. Estrada-Meza et al. (2015) en su trabajo menciona que los recubrimientos aplicados en mango (zeína y gelatina) redujeron el aumento de SST, y que el aumento de SST se vio reflejado en el control y consideran que los recubrimientos comestibles tienen un fuerte efecto en la disminución de los procesos metabólicos y,

finalmente, en la reducción de las tasas de respiración. Khaliq et al. (2016) determinaron que la concentración de sólidos solubles fue menor que la del control, esto se debió a que los recubrimientos forman una capa semipermeable que generó una atmosfera con mayor concentración de CO_2 y disminuyó la concentración de oxígeno lo que conlleva a una baja tasa respiratoria. Klangmuang & Sothornvit (2018) determinaron que el control tuvo mayor incremento de SST y suponen que los recubrimientos disminuyen la tasa respiratoria y el metabolismo de los mangos.

5.10.8 Acidez titlable (AT)

Los ácidos orgánicos presentes en los alimentos influyen en el sabor, color y estabilidad de los mismos. En la Figura 13 se pueden observar los valores de acidez en los frutos de mango. Aunque los mangos no suelen presentar altos valores de acidez, este es un parámetro de calidad importante, ya que puede usarse como un indicador de trastornos metabólicos debido a condiciones estresantes, como la temperatura de enfriamiento. Los valores de acidez titlable (AT) disminuyeron a través del tiempo, el testigo fue el que mayor pérdida de acidez presento, presentando diferencia significativa en comparación con los recubrimientos aplicados (Tukey, $\alpha=0.05$).

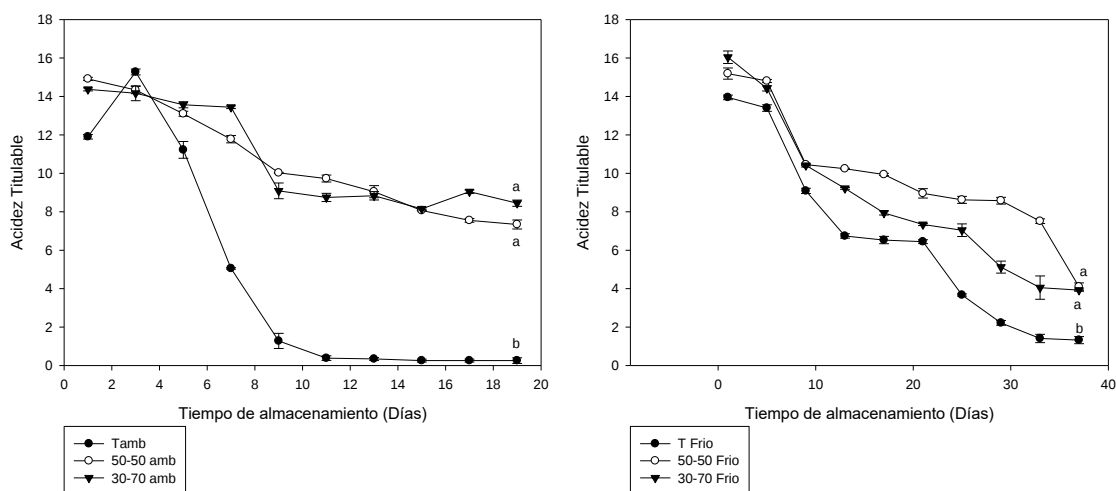


Figura 13. Acidez Titulable en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R. ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.

Abbasi et al. (2009) mencionan que la acidez titulable disminuye significativamente junto con el tiempo de almacenamiento en frutos de mango recubiertos y los no recubiertos y determinan que la reducción de la acidez puede deberse a su conversión en azúcares y su mayor utilización en los procesos metabólicos de la fruta. Carrillo-López et al. (2000) mencionan que los primeros doce días de almacenamiento observaron una disminución continua de la acidez titulable de 0.83 a 0.1 % y que el poliéster de sacarosa era efectivo para la retención de pérdida de Acidez titulable en comparación con el control. Djioua et al. (2010) encontraron que en frutos de mango recubiertos con quitosano permanecieron sin cambios en comparación de los demás tratamientos, determinando que los frutos de mango tienen una mayor cantidad de acidez titulable después de los 7 días de almacenamiento a 6 °C. Rathore et al. (2007) mencionan que el porcentaje de acidez valorable tuvo una tendencia decreciente durante los 15 d del período de almacenamiento, lo que podría deberse a la degradación del ácido cítrico, reduciendo la acidez, debido a su conversión en azúcares y su posterior utilización en el proceso metabólico de la fruta. Aguiar et al. (2010) mencionan que los mangos refrigerados con o sin recubrimiento presentaron una acidez titulable estadísticamente mayor durante el almacenamiento, a pesar de una disminución observada en comparación con el control; mencionan también que la acidez titulable es muy sensible a la temperatura de almacenamiento que al propio recubrimiento. Estrada-Meza et al. (2015) menciona que la acidez titulable disminuyó durante el periodo de almacenamiento, siendo menor en los frutos no recubiertos, suponen que el recubrimiento genera una atmósfera modificada que acumula CO₂ en el tejido y aumenta su acidez.

5.10.9 pH

El pH incremento conforme el tiempo de almacenamiento (Figura 14). El análisis de medias del parámetro nos indica diferencia significativa entre el testigo y los recubrimientos, siendo la temperatura ambiente la que mayores cambios de pH desencadeno (Tukey, $\alpha=0.05$). Se puede observar como los recubrimientos mantienen el pH de los frutos.

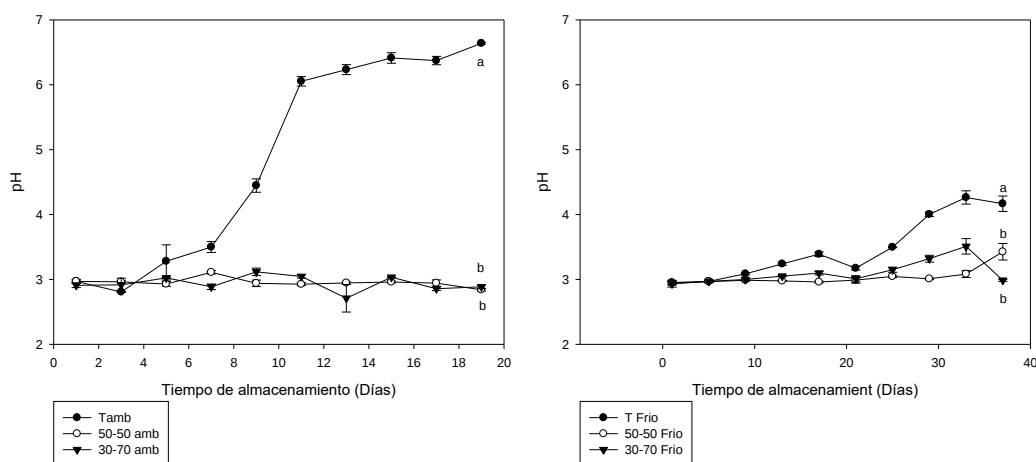


Figura 14. pH en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12°C ± 1°C a 90 % H.R ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.

Abbasi et al. (2009) menciona que el cambio en el pH está asociado con varias razones; puede deberse al efecto del tratamiento sobre la condición bioquímica de la fruta y a la menor velocidad de la respiración y la actividad metabólica, mencionan que los recubrimientos retardaron los cambios en el pH, retrasando efectivamente la senescencia de la fruta. Ochiki et al. (2015) encontraron que las concentraciones de gel de aloe vera del 50 % y 75 % interactuaron con la temperatura de almacenamiento de 13 °C, lo que resultó en una reducción significativa del pH del jugo de fruta. Maldonado-Astudillo et al. (2016) demostraron con su investigación que el pH se incrementa y el contenido de vitamina C disminuye a medida que el contenido de azúcares y carotenos

aumentan marcadamente. Naeem et al. (2018) encontraron que los resultados obtenidos de este estudio mostraron que no solo el revestimiento de goma guar previno la disminución de la acidez valorable, sino que la suplementación con aceites esenciales mejoró aún más este proceso. Rizwana et al. (2013) encontraron que todos los tratamientos tuvieron un incremento en el pH, sin embargo, los frutos que se encontraban en almacenamiento en refrigeración presentaban un incremento menor en comparación con el testigo. Siller-Cepeda et al. (2009) encontraron que existe una relación inversamente proporcional entre la acidez titulable y el pH, comentando que cuando hay un descenso drástico de la acidez, hay un aumento drástico del pH.

5.10.10 Azúcares totales

En todos los atributos de calidad los carbohidratos desempeñan un papel relevante. Se puede observar en la figura 15, como existe un descenso significativo considerable de los azúcares totales (Tukey, $\alpha=0.05$), para después crecer y estabilizarse, esto se relaciona con el incremento de la respiración que llega al pico climatérico y después se estabilizan los procesos metabólicos.

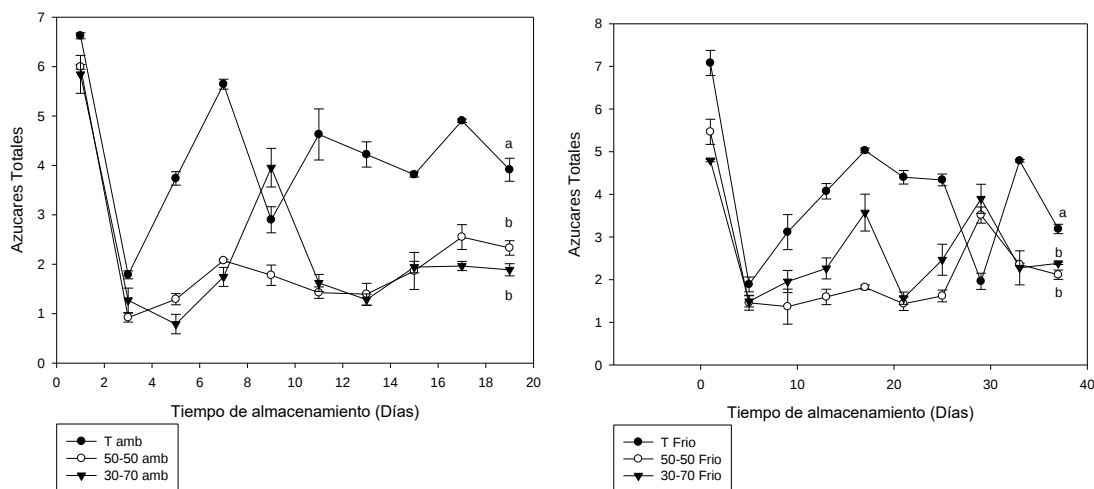


Figura 15. Azúcares totales en frutos de mango "Ataulfo" durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R. ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.

Lagos (1992) explica como simultáneamente a la fase de elevación climatérica, en las tasas de respiración, se presenta un descenso considerable del contenido de azúcares totales, los cuales se estabilizan después de alcanzado el pico climatérico, alrededor del 11 % en la variedad Tommy Atkins y del 13 % en la variedad Kent. Morais et al. (2003) reportaron que, durante el almacenamiento refrigerado, el aumento AT fue inferior al obtenido cuando los frutos fueron sometidos a temperatura ambiente, sin embargo, mencionan que el aumento de azúcares totales es debido a la maduración, aunque este haya ocurrido durante el almacenamiento refrigerado. Ramirez et al. (2010) mencionan que esta variable es importante para el consumo fresco del fruto de Haden y Tommy Atkins. Othman & Mbogo (2009) comentan que el contenido de azúcares totales de los mangos aumentó con los días de maduración de almacenamiento haciendo que las frutas más azucaradas sean las totalmente maduras.

5.10.11 Azúcares reductores directos

Se observa en la Figura 16 que los contenidos de azúcares reductores en los frutos de mango fueron creciendo conforme el tiempo de almacenamiento. Los datos mostrados arrojan diferencia significativa entre los testigos.

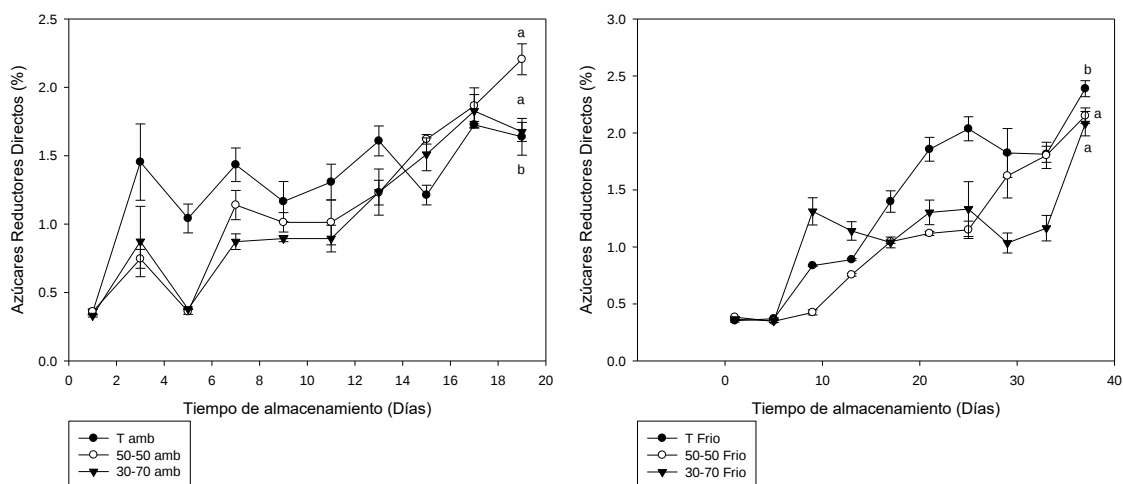


Figura 16. Porcentaje de azúcares reductores en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 d a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 d a 12°C ± 1°C a 90 % H.R. ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.

De Oliveira-Lima et al. (2001) reportan que los contenidos de azúcares reductores en frutos de mango pueden atribuirse a actividades más bajas de invertasa y amilasa ya que sus datos mostraron que la actividad amilolítica era una característica importante durante la maduración del mango. Islam et al. (2013a) declararon que los mangos no tratados eran mejores en la formación de azúcar reductor en comparación con otros tratamientos. Saleem et al. (2017) mencionan que los azúcares reductores que se mantuvieron en almacenamiento de 4 °C disminuyeron significativamente, y podría deberse a la respiración y otros procesos que consumen energía durante la maduración del mango. Islam et al. (2013b) observaron una tendencia al aumento de la reducción de azúcar con la expansión del período de almacenamiento y que podría deberse posiblemente debido a la variación genética entre variedades.

5.10.12 Contenido de fenoles solubles totales (FST)

Los compuestos fenólicos son los metabolitos secundarios y controlan múltiples operaciones bioquímicas. Estos también poseen un potencial antioxidante y para los cuales pueden capturar electrófilos y ERO's (especies reactivas de oxígeno) y unirse a iones metálicos, tienen la capacidad de autooxidación y regular ciertas funciones enzimáticas. Se puede observar el comportamiento del contenido de fenoles totales en la figura 17. Se observó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, pero si entre las temperaturas, en donde la temperatura ambiente presentó mayor presencia de los compuestos fenólicos (Tukey, $\alpha = 0.05$).

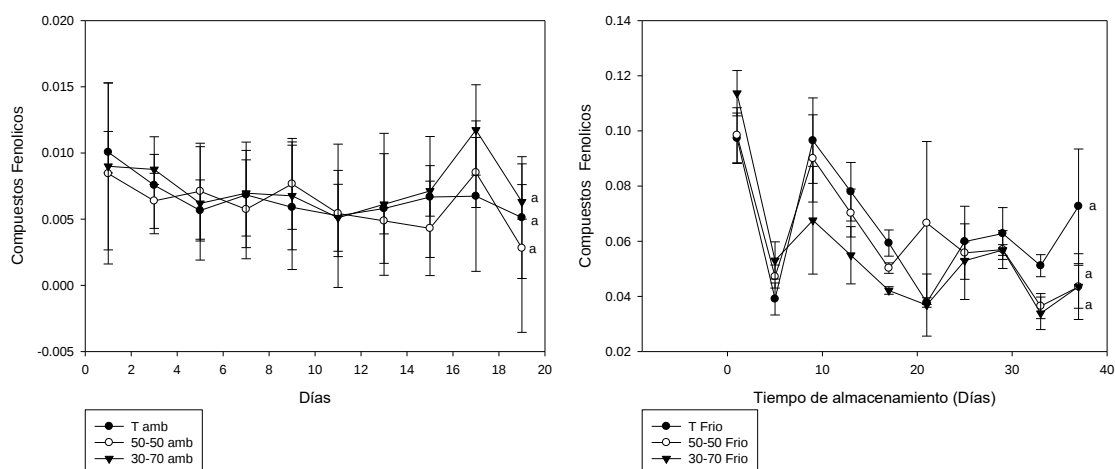


Figura 17. Compuestos fenólicos en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $65\text{ \% H.R.} \pm 2$ y, b) 37 días a $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $90\text{ \% H.R.} \pm 2$. Los símbolos representan la media para $n=3$.

Naeem et al. (2018) observaron un aumento en el contenido fenólico en las muestras tratadas, pero esta tasa fue significativamente menor en comparación con las muestras del control después de 24 d de incubación. Palafox et al. (2012) identificaron cuatro ácidos fenólicos en pulpa de mango “Ataulfo” los cuales eran: gálico, clorogénico, protocatéquico y vanílico, y que el ácido gálico se identificó como una molécula desprotonada. Ribeiro et al. (2008) mencionan que las concentraciones de compuestos fenólicos en los granos de semilla y las cáscaras fueron 4.6 y 7.3 veces más altas, respectivamente, que, en la pulpa, lo que hace que estos residuos sean fuentes prometedoras de polifenoles. Hossain et al. (2014) reportaron que el contenido total de fenol en el mango “Irwin” almacenado a baja temperatura ($5\text{ }^{\circ}\text{C}$) aumentó hasta 20 d y luego disminuyó gradualmente y suponen que resultados indicaron que la temperatura y el tiempo de almacenamiento afectan notablemente el cambio en el contenido total de fenol de las frutas de mango. Gol & Rao (2013) encontraron que las frutas recubiertas con zeína y gelatina mostraron una mejora significativa en la retención de fenoles totales con respecto a la fruta de control y determinan que los compuestos fenólicos tienen un papel importante en el mantenimiento de la

calidad de la fruta en términos de color, sabor, aroma y sabor; a este respecto, las frutas recubiertas con un mayor contenido fenólico tendrían una calidad más alta que la fruta de control.

5.10.13 Contenido de carotenoides

Los pigmentos carotenoides son compuestos responsables de la coloración de gran número de alimentos vegetales y animales. Se puede observar en la Figura 18, el comportamiento de estos pigmentos en los frutos de mango. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, no hay diferencias en el comportamiento entre temperaturas (Tukey, $\alpha=0.05$).

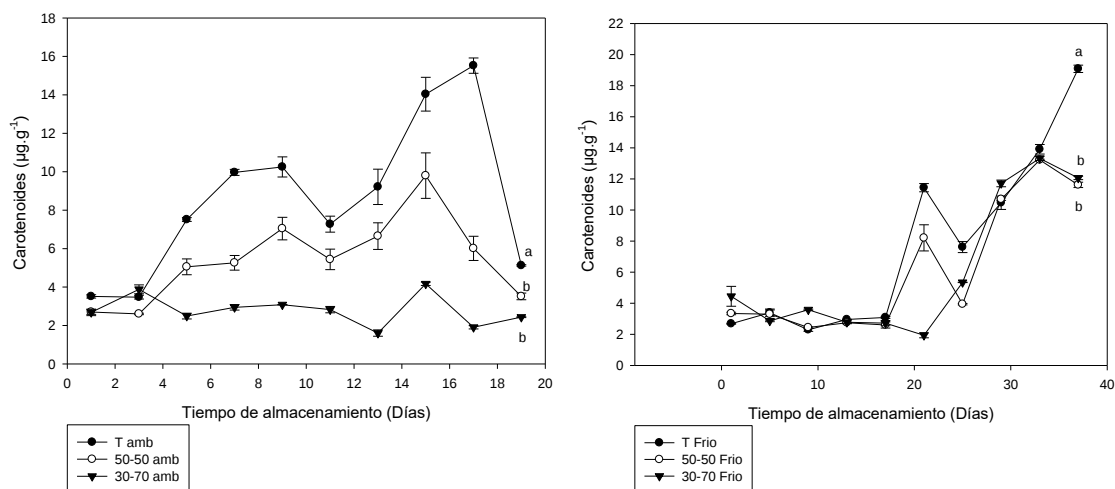


Figura 18. Carotenoides en frutos de mango “Ataulfo” durante el almacenamiento: a) 19 días a 24 °C ± 0.5 °C a 65 % H.R. ± 2 y, b) 37 días a 12 °C ± 1 °C a 90 % H.R. ± 2. Los símbolos representan la media para n=3.

Gol & Rao (2013) encontraron que el contenido de carotenoides aumentó gradualmente durante el almacenamiento en frutas de mango recubiertas y no recubiertas, donde se piensa que es posible que las frutas recubiertas retengan sus clorofilas por un período más largo, al reducir la síntesis de carotenoides. Djioua et al. (2010) menciona que después del 1 día de almacenamiento, los carotenoides totales variaron de 2,9 a 3,3 mg · 100 g⁻¹, pero sin diferencias

significativas entre las muestras de control y las tratadas, y determinan que la etapa inicial de madurez de los mangos podría explicar este resultado. Arrazola et al. (2013) reportaron que se encontraron diferencias estadísticas significativas en la cantidad de carotenoides entre cultivares.

5.11 Conclusiones

La concentración de goma guar se mostró eficaz para la formulación de un recubrimiento polimérico para la conservación del mango “Ataulfo”, teniendo una adecuada adherencia, sin aportar olores o sabores objetables a los característicos del fruto. La adición de cera de candelilla en la formulación del recubrimiento polimérico permitió la formación de una barrera contra la humedad, y en conjunto con las propiedades de la goma guar, una barrera semipermeable a los gases de la respiración, logrando un control en los procesos respiratorios y una menor pérdida de peso en los mangos recubiertos. En condiciones de almacenamiento de refrigeración a $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del $90 \pm 2\%$, el recubrimiento polimérico formulado logró conservar en mango “Ataulfo” los parámetros fisicoquímicos como el pH, la cantidad de sólidos solubles y el % de acidez. El recubrimiento polimérico retrasó el cambio en las coordenadas de color (L^* , a^* , b^*), así como también permitió que las muestras presentaran valores mayores de firmeza durante el tiempo de almacenamiento. El tratamiento con recubrimiento polimérico 50-50 se presenta como una alternativa agroindustrial eficaz para conservar la calidad y prolongar el tiempo de duración del mango “Ataulfo” hasta por 25 días en refrigeración a $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $90\% \pm 2\%$ HR.

5.12 Literatura citada

- Abbasi N. A., Iqbal Z., Maqbool M. and Hafiz I. A. (2009). Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating. Pak. J. Bot., 41(1). 343-357.
- Aguiar R. P., Miranda Ma. R. A., Lima Á. M. P., Mosca J. L., Moreira R. A., Enéas-Filho J. (2010). Effect of a galactomannan coating on mango postharvest physicochemical quality parameters and physiology. Fruits. 66 (4). 269-278.
- Arrazola P G., Rojano B. A., Díaz D. A. (2013). Capacidad antioxidante de cinco cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) y evaluación de su comportamiento en una matriz alimentaria. Revista Colombiana de ciencias hortícolas. 7 (2). 161-172.
- Ayala-Garay A. V., Almaguer-Vargas G.; De la Trinidad-Pérez N. K.; Caamal-Cauich I.; Rendón R. (2009). Mango (*Mangifera indica* L.). Production competitiveness at Michoacan. Revista Chapingo Serie Horticultura, 15(2), 133-140.
- B. Tiwari, K. Muthukumarappan, C. O'Donnell, P. Cullen. (2008). Effects of sonication on the kinetics of orange juice quality parameters, J. Agric. Food Chem. 56 (7) 2423–2428.
- Bourtoom, T., & Chinnan, M. S. (2008). Preparation and properties of rice starch-chitosan blend biodegradable film. Lebensmittel- Wissenschaft + Technologie, 41(9), 1633-1641. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2007.10.014>.
- Camatari, Fabiana & Cristina Lins de Aquino Santana, Luciana & Carnelossi, Marcelo & Santos Alexandre, Allana & Lucia Nunes, Maria & Goulart, Marília & Narain, Narendra & Aparecida Azevedo Pereira da Silva, María. (2017). Impact of edible coatings based on cassava starch and chitosan on the post-harvest shelf life of mango (*Mangifera indica*) 'Tommy Atkins' fruits. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 10.1590/1678-457x.16417.

- Carillo-López A., Bustamante-Ramírez F., Valdés-Torres J. B., and Rojas-Villegas R. (2000). Ripening and quality changes in mango fruit as affected by coating with an edible film. *Journal of Food Quality*. 23. 479-486.
- Cosme-Silva G. M., Batista-Silva W., Medeiros D. B., Rodrigues-Salvador A., Menezes-Cordeiro Ma. H., Martins da-Silva N., Bortolini-Santana D., Mizobutsi G. P. (2017). The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. *Food Chemistry*. 237. 372–378.
- De Oliveira-Lima L. C., Chitarra A. B. and Chitarra Ma. I. F. (2001). Changes in Amylase Activity Starch and Sugars Contents in Mango Fruits Pulp Cv. Tommy Atkins With Spongy Tissue. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 44(1).59-62.
- Djioua T., Charles F., Murillo F. Jr., Filgueiras H., Ducamp-Collin M. N. & Sallanon H. (2010). Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 849–855.
- Estrada-Mesa E. Ma., Padilla-Reyes F., Márquez-Cardozo C. J. (2015). Effect of protective coatings on the quality of mango (*Mangifera indica* L.) in postharvest. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(1): 181-188.
- Gol N. B. and Rao T.V. R. (2014). Influence of zein and gelatin coatings on the postharvest quality and shelf life extension of mango (*Mangifera indica* L.). *Fruits*. 69. 101–115.
- Gomes, E. C. S., Gondim, J. S., Santos, M. F. G. S., Nascimento, L. C., Batista, J. L., & Silva, S. M. (2010). Podridão peduncular e qualidade de mangas ‘Tommy Atkins’ procedentes do mercado atacadista de Campina Grande-PB. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32(4), 1267-1271. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452010005000133>.
- Hossain Md. A., Rana Md. M., Kimura Y. and Roslan H. A. (2014). Changes in Biochemical Characteristics and Activities of Ripening Associated Enzymes in Mango Fruit during the Storage at Different Temperatures. *BioMed Research International*. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/232969>.

- Hojo, E. T. D., Abreu, C. M., Asmar, S. A., Hojo, R. H., Corrêa, A. D., & Vilas Boas, E. V. B. (2009). Avaliação da qualidade de manga 'Palmer' tratada com 1-Metilciclopropeno e armazenada sob refrigeração e condição ambiente. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(1), 28-38.
- Islam Md. K., Khan M. Z. H., Sarkar M. A. R., Absar N. and Sarkar S. K. (2013a). Changes in Acidity, TSS, and Sugar Content at Different Storage Periods of the Postharvest Mango (*Mangifera indica* L.) Influenced by Bavistin DF. *International Journal of Food Science*. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/939385>.
- Islam Md. K., Khan M. Z. H., Sarkar M. A. R., Absar N. and Sarkar S. K. (2013b). Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit affected by different levels of gibberellic acid during storage. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 17 (3) 499 – 509.
- Jahurul, M.H.A., Zaidul, I.S.M., Ghafoor Kashif, Fahad Y. Al-Juhaimi, Kar-Lin Nyam, Norulaini, N.A.N., Sahena, F., Mohd Omar A.K. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: A review. *Food Chemistry* 183: 173–180.
- Jha, Shyam N. (2010). Colour measurements and modeling. In *Nondestructive evaluation of food quality. Theory and practice*. (pp. 17-40). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kader, A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops*. 3rd ed. ANR Publications, Oakland, California. pp 1-8.
- Khaliq, G., Mohamed, M.T.M., Ding, P., Ghazali, H.M. and Ali, A. (2016). Storage behaviour and quality responses of mango (*Mangifera indica* L.) fruit treated with chitosan and gum Arabic. *International Food Research Journal* 23. 141-148.
- Klangmuanga P. and Sothornvita R. (2018). Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with Thai essential oils on mango (cv. Namdokmai Sithong). *Food Bioscience*. 23. 9–15.

- Lagos E. (1992). Maduración de los frutos de las variedades de mango tomy atkins y kent, bajo temperatura y humedad relativa controladas. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellin. 45 (2). 27-49.
- Maldonado-Astudillo Yanik I., Navarrete-García Heidi A., Ortiz-Morales Óscar D., Jiménez-Hernández Javier, Salazar-López Ricardo, Alia-Tejacal Irán y Álvarez-Fitz Patricia. (2016). Physical, chemical and antioxidant properties of mango varieties grown at the Guerrero coast. Rev. Fitotec. Mex., 39, 207 - 214.
- Miguel, A. C. A., Durigan, J. F., Morgado, C. M. A., & Gomes, R. F. O. (2011). Injúria pelo frio na qualidade pós-colheita de mangas cv. Palmer. Revista Brasileira de Fruticultura, spe, 255-260.
- Moalemiyan M., Ramaswamy H. S. and Maftoonazad N. (2012). Pectin-based edible coating for shelf-life extension of ataulfo mango. Journal of Food Process Engineering. 35.572–600.
- Morais D. de P. L.; Filgueiras H. A.; Pinho N. de João L.; Alves-Elesbão R.; Assis J. (2003). Vida útil de mangos cv. tomy atkins recolectados en el estadio de maduración comercial. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 5 (1). 26-32
- Naeem A., Abbas T., Ali T. M., Hasnain A. (2018). Effect of guar gum coatings containing essential oils on shelf life and nutritional quality of green-unripe mangoes during low temperature storage. International Journal of Biological Macromolecules. 113. 403-410.
- Ochiki S., Gesimba M. R. and W. J. Ngwela. (2015). Effects of *Aloe vera* gel coatings and storage temperature on quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruits. Annals of Biological Research, 6 (5):1-6.
- Othman O.C. and Mbogo G.P. (2009). Physico-chemical characteristics of storage-ripened mango (*Mangifera indica* L.) fruits varieties of eastern Tanzania. Tanz. J. Sci. Vol 35. 57-66.

- Palafox-Carlos H., Yahia E.M., González-Aguilar G.A. (2012). Identification and quantification of major phenolic compounds from mango (*Mangifera indica*, cv. Ataulfo) fruit by HPLC–DAD–MS/MS-ESI and their individual contribution to the antioxidant activity during ripening. Food Chemistry 135. 105–111.
- Ramírez-Méndez, R., Quijada O., Castellano G., Burgos Ma. E., Camacho R., Marin R. C. (2010). Características físicas y químicas de frutos de trece cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en el municipio Mara en la Planicie de Maracaibo. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 10(2). 65-72.
- Rathore H. A., Masud T., Sammi S. and Soomro A. H. (2007). Effect of Storage on Physico-Chemical Composition and Sensory Properties of Mango (*Mangifera indica* L.) Variety Dosehari. Pakistan Journal of Nutrition 6 (2): 143-148.
- Ribeiro S.M.R., Barbosa L.C.A., Queiroz J.H., Knödler M., Schieber A. (2008). Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. Food Chemistry. 110. 620–626.
- Rizwana K. S., Sherazi S. T. H. and Sheikh S. A. (2013). Effects of Sunflower Wax Coating on Physicochemical Changes of *Mangifera Indica* L. in Storage Life. Pak. J. Anal. Environ. Chem. 14 (1). 42 – 46.
- Rodríguez Saucedo, Elvia Nereyda. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. Ra Ximhai. 7 (1): pp. 153-170.
- Saleem T., Shad A., Khan S., Yasmeen H. and Mustafa K. (2017). Comparative analysis of Sugars in *Mangifera indica* L. relative to quick decline disease. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 6(2): 283-286.
- Siller-Cepeda J., Muy-Rangel D., Baez-Sañudo M., Araiza-Lizarde E., Ireta-Ojeda A. (2009). Postharvest quality of mangos cultivars of early, middle and late seasons. Rev. Fitotec. Mex. 32 (1). 45-52.
- Singh, Z., Singh, R. K., Sane, V. A., & Nath, P. (2013). Mango: postharvest biology and biotechnology. Critical Reviews in Plant Sciences, 32(4), 217-236. <http://dx.doi.org/10.1080/07352689.2012.743399>.

- Sousa J.P., Praça E.F., Alves D.E, Bezerra- Neto F., Dantas F.F. (2002). Influence of refrigerated storage and plastic film-modified atmosphere in quality of 'Tommy Atkins' mangoes, Rev. Bras. Frutic. 24 (3) 665–668.
- Yamashita, F., Tonzar, A. C., Fernandes, J. G., Moriya, S., & Benassi, M. T. (2001). Embalagem individual de mangas cv Tommy Atkins em filme plástico: efeito sobre a vida de prateleira. Revista Brasileira de Fruticultura, 23(2), 288-292. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452001000200017>.