



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

RECUBRIMIENTOS DE GOMA ARÁBIGA Y CERA DE CANDELILLA APLICADOS
EN ZAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacquin) H. E. Moore & Stearn) EN
POSTCOSECHA

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTA. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

P R E S E N T A

ARMANDO MAGDALENO TORRES CHOCOLATL



Diciembre 2013

Chapingo, Texcoco; Estado de México,

**RECUBRIMIENTOS DE GOMA ARÁBIGA Y CERA DE CANDELILLA
APLICADOS EN ZAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacquin) H. E. Moore &
Stearn) EN POSTCOSECHA**

Tesis realizada por **Armando Magdaleno Torres Chocolatl** bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el
grado de:

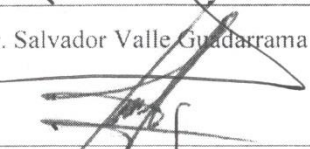
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

Director



Dr. Salvador Valle Guadarrama

Asesor



Dr. Irán Alia Tejacal

Asesor



Dr. Eleazar Aguirre Mandujano

DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar este importante logro profesional.

A mi familia, por ser la base de mi fortaleza, porque para ellos están dedicados todos mis logros.

A mis padrinos Erasmo Ordeñana y Amelia Lampayas por haberme traído a Chapingo y brindarme todo su apoyo para poder tener una carrera universitaria.

A Gris por estar en mi vida, gracias por tu amor, amistad, apoyo y comprensión que me has brindado cada día.

Para mis amigos: Hugo, Ely, Salvador, Carlos, Chuy, Michael, Elvia, Araceli, Marieli, Lupita y Sara por todos los buenos momentos que hemos vivido, risas, pláticas y demás cosas que hicieron más amena nuestra vida en esta bella Universidad.

A mis compañeros Azali, Alex, Dany, Hugo, Bety, Berna, Sofy, Rosy, por su amistad, unión y buenos momentos que pasamos a lo largo de 2 años en los que formamos parte de la 10ma. generación de la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria.

A los compañeros de la 11va. generación de la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria.

AGRADECIMIENTOS

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

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por el apoyo financiero otorgado mediante el Programa de Becas para Tesis de Posgrado 2013.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Ingeniería Agroindustrial por formarme académicamente para ser alguien que pueda aportar un granito de arena a este gran país; México.

Al Dr. Salvador Valle Guadarrama por su paciencia, enseñanza, apoyo y disposición durante la realización de la presente investigación y en la revisión de este documento.

Al Dr. Irán Alia Tejacal por su amistad y su invaluable apoyo en la culminación de este proyecto de investigación.

Al Dr. Eleazar Aguirre Mandujano por su paciencia y sus atinadas observaciones para fortalecer y mejorar esta investigación.

A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada por todo el apoyo brindado y buena disposición para ayudarnos durante nuestra estancia en la maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria.

A la Sra. Esperanza Salinas Banda “Perita” por todo su entusiasmo, buena voluntad y disposición para ayudarnos a cumplir con todos los trámites administrativos y principalmente por la amistad que nos brinda cada día.

A la Dra. Ofelia Sandoval Castilla y el Dr. Cesar Ramírez Santiago por sus observaciones, apoyo y disponibilidad para aclarar mis dudas en la investigación.

Al Ing. Álvaro Gaona y el Sr. Aquilino Martínez por su apoyo y las facilidades otorgadas para obtener la fruta de zapote mamey.

Al Sr. Mateo del laboratorio de Tecnología de Semillas del Departamento de Fitotecnia de la UACH por su disposición y amistad para la realización de la fase de secado de las películas comestibles.

A Gustavo, Landy, Dzul, Lupita, Daysi, Juan Carlos del laboratorio de Tecnología de Alimentos del Departamento de Preparatoria Agrícola de la UACH, gracias por estar siempre para apoyarme y decirme frases de aliento en los momentos de mayor oscuridad.

A Doris del Laboratorio de Bioquímica de Alimentos del Departamento de Ingeniería Agroindustrial por su amistad y buena voluntad para ayudarme.

Al Sr. Adrián Paredes del Laboratorio de Fisiología y Tecnología Poscosecha del Departamento de Ingeniería Agroindustrial por su amistad y buena voluntad para apoyarme en la evacuación fisicoquímica de la fruta.

Al Dr. Gustavo Mena Nevárez por su amistad, enseñanza y apoyo en la identificación de hongos patógenos en la fruta de zapote mamey.

A todos los compañeros del Laboratorio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Morelos, por su amistad y su tiempo que me dieron para la realización de la cromatografía de gases, en especial a Benito, Jorge y el Dr. Irán Alia.

A Sinai, Luis, Beza que trabajaron conmigo en el Laboratorio de Control de Calidad del Departamento de Ingeniería Agroindustrial por su amistad, risas, compañerismo y buenos momentos que pasamos y su buena voluntad para apoyarme en cada momento. ¡Muchas gracias!

DATOS BIOGRÁFICOS

Armando Magdaleno Torres Chocolatl es originario de la localidad de Santa María Zacatepec, municipio de Juan C. Bonilla, Puebla. Realizó sus estudios de nivel medio superior y superior en la Universidad Autónoma Chapingo de 2001 a 2008. En 2011, obtuvo el título de Ingeniero Agroindustrial en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

De marzo 2009 a noviembre de 2010 realizó actividades como Coordinador de Agronegocios en la Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla, dentro del Programa Estatal de Extensionismo Rural en la Coordinación de Desarrollo Rural # 15 con sede en Huehuetlán el Chico, Puebla.

RECUBRIMIENTOS DE GOMA ARÁBIGA Y CERA DE CANDELILLA APLICADOS
EN ZAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacquin) H. E. Moore & Stearn) EN
POSTCOSECHA

COATINGS OF ARABIC GUM AND CANDELILLA WAX APPLIED ON SAPOTE
MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacquin) H.E. Moore & Stearn) FRUITS AT POSTHARVEST
STAGE

Armando Magdaleno Torres Chocolatl¹, Salvador Valle Guadarrama²

RESUMEN

Se realizó la caracterización de emulsiones y películas, y se determinó su capacidad como recubrimiento en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*). Se elaboraron y caracterizaron emulsiones con 20 % de goma arábica (GA) y 6, 8 y 10 % de cera de candelilla (CC). Los recubrimientos fueron aplicados en los frutos, los cuales se almacenaron a 12 °C durante 25 d. Cada 5 d de almacenamiento, un lote de frutos se trasladó a un ambiente de 20 °C y se evaluó su maduración en ese momento y 6 d después. Los resultados mostraron que en la emulsión 20GA-10CC, el tamaño de gota y la viscosidad fue mayor en 90 % y 200 % respecto a la emulsión 20GA-6CC. En las películas, el grosor varió de 0.23 a 0.33 mm y la cromaticidad de 13 a 19. Los frutos recubiertos mostraron una pérdida de peso entre 30 y 50 % menor respecto a aquellos sin recubrir (testigos). En los frutos recubiertos con 20GA-8CC y 20GA-10CC se inhibió la producción de etileno, sin embargo, mostraron una maduración normal al aumentar los °Brix de 9 a 24 % y el pH de 5.7 a 7.

ABSTRACT

We carried out a characterization of emulsions and films and its ability as edible coating on sapote mamey fruits (*Pouteria sapota*). We elaborated and characterized emulsions with 20 % of arabic gum and 6, 8, 10 % of candelilla wax. Edible coatings on sapote fruits were applied and stored at 12 °C during 25 d. Every 5 d of storage, a sample of fruits was moved to a temperature of 20°C and in that moment and after 6 d it was evaluated. The results showed that 20GA-10CC treatment emulsion, the drop size and viscosity was 90 and 200 % higher than 20GA-6CC treatment emulsion. In the edible films, the thickness varied from 0.23 to 0.33 mm and the chromaticity from 13 to 19. Fruits coated showed a weight loss ranging from 30 to 50 % less than fruits without coating (control). In coated fruits with 20GA-8CC and 20GA-10CC treatment, ethylene inhibition was observed, but exhibited a normal ripening process attributed to change in °Brix from 9 to 24 % and pH from 5.7 to 7.

Palabras clave: *Pouteria sapota*, recubrimientos comestibles, maduración, pérdida de peso.

Key words: *Pouteria sapota*, edible coatings, ripening, weight loss.

¹Autor de tesis, ²Director de tesis

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades sobre los recubrimientos comestibles	3
2.2 Tipos de polímeros utilizados como recubrimientos comestibles	4
2.3 Recubrimientos comestibles basados en polisacáridos.....	5
2.4 Recubrimientos comestibles basados en proteínas	8
2.5 Recubrimientos comestibles basados en lípidos.....	9
2.7 Cera de candelilla.....	13
2.8 Carboximetilcelulosa	14
2.9 Emulsiones.....	15
2.10 Reología	16
2.11 Generalidades del zapote mamey	17
2.11.1 Clasificación botánica	19
2.11.2 Descripción morfológica	21
2.11.3 Manejo postcosecha del zapote mamey	22
2.11.4 Importancia económica del zapote mamey en México	25
2.12 Significado y efectos fisiológicos de una atmósfera modificada.....	27
2.13 Atmósferas modificadas basadas en recubrimientos comestibles	28
3. JUSTIFICACIÓN.....	32
4. OBJETIVOS.....	35
4.1 Objetivos generales.....	35
4.2 Objetivos particulares	35
5. CARACTERIZACIÓN DE EMULSIONES Y PELÍCULAS COMESTIBLES A BASE DE GOMA ARÁBIGA Y CERA DE CANDELILLA	36
Resumen	37
5.1 Introducción.....	38
5.2 Materiales y métodos.....	40
5.2.2 Preparación y evaluación de formulaciones de emulsiones	40
5.2.3 Elaboración y evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las películas comestibles a base de GA y CC	43
5.3. Análisis estadístico	47

5.4 Resultados y discusión.....	48
5.4.1 Fase preliminar	48
5.4.2 Caracterización de las emulsiones.....	49
5.4.3 Propiedades físicas y mecánicas de las películas comestibles	60
5.5 Conclusiones.....	65
6. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE RECUBRIMIENTOS DE GOMA ARÁBIGA Y CERA DE CANDELILLA EN LA MADURACIÓN DE FRUTOS DE ZAPOTE MAMEY .	67
Resumen	68
6.1 Introducción.....	69
6.2 Materiales y métodos	71
6.2.1 Material vegetal y caracterización inicial.....	71
6.2.2 Formulación y aplicación de los recubrimientos comestibles a los frutos de zapote mamey	71
6.2.3 Planeación experimental.....	72
6.2.4 Variables fisiológicas	73
6.2.5 Variables fisicoquímicas	75
6.3 Análisis estadístico	77
6.4 Resultados y discusión.....	77
6.4.1 Caracterización inicial	77
6.4.2 Variables fisiológicas	79
6.4.3 Variables fisicoquímicas	93
6.4.4. Color.....	97
6.5 Conclusiones.....	102
7. CONCLUSIONES GENERALES	103
8. BIBLIOGRAFÍA.....	105

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de polisacáridos utilizados como recubrimiento comestible de acuerdo a su fuente de origen y uso alimenticio (se excluye a los almidones).....	7
Cuadro 2. Clasificación de proteínas utilizadas como recubrimiento comestible de acuerdo a su fuente de origen.....	9
Cuadro 3. Clasificación de lípidos utilizados como recubrimientos comestibles o componentes de barrera.	10
Cuadro 4. Datos analíticos de goma obtenida de árboles de <i>Acacia senegal</i>	12
Cuadro 5. Propiedades fisicoquímicas de cera de candelilla cruda y refinada.....	14
Cuadro 6. Composición química y nutricional de frutos de zapote mamey.....	19
Cuadro 7. Nombres científicos del zapote mamey a través del tiempo.....	20
Cuadro 8. Clasificación taxonómica del zapote mamey.....	21
Cuadro 9. Volumen de producción (en toneladas) de zapote mamey de los principales estados productores en México (2003-2012).	26
Cuadro 10. Pérdidas poscosecha estimadas de productos hortofrutícolas frescos en países en vías de desarrollo.....	32
Cuadro 11. Composición de los recubrimientos (p/p) elaborados a partir de diferentes concentraciones de goma arábica y cera de candelilla, como parte del diseño evolutivo.....	41
Cuadro 12. Propiedades de los recubrimientos elaborados a partir de diferentes concentraciones de GA y CC, como parte del diseño evolutivo.....	49

Cuadro 13 Análisis de varianza del los parámetros de la modelación de datos experimentales que describen las características reológicas de las emulsiones de goma arábica y cera de candelilla.....	55
Cuadro 14. Parámetros reológicos del Modelo de Carreau de las emulsiones y comparación de medias de los parámetros	57
Cuadro 15. Valores de $1/\lambda_c$, determinados a partir del valor de la media de la modelación (λ_c) de los datos experimentales para emulsiones de GA Y CMC adicionadas con diferentes concentraciones de cera de candelilla.....	58
Cuadro 16 Análisis de varianza del tamaño de partícula de las emulsiones de goma arábica y cera de candelilla.....	58
Cuadro 17 Comparación de medias para el tamaño de partícula ($D_{3,2} \pm DS$) de emulsiones de goma arábica y diferentes concentraciones de cera de candelilla.....	59
Cuadro 18. Análisis de varianza de los parámetros que describen las propiedades mecánicas y físicas de películas formadas a partir de emulsiones de goma arábica y diferentes concentraciones de cera de candelilla.....	60
Cuadro 19. Efecto de la adición de diferentes concentraciones de cera de candelilla sobre las propiedades mecánicas de recubrimientos comestibles a base de GA y CC.....	65
Cuadro 20. Análisis de varianza de la variable fisiológica pérdida de peso de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábica y cera de candelilla y mantenidos bajo condiciones de refrigeración y después madurados durante 6 d a temperatura ambiente.....	79
Cuadro 21. Análisis de varianza de la variable fisiológica velocidad de respiración de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábica y cera de candelilla y mantenidos bajo condiciones de refrigeración y después madurados durante 6 d a temperatura ambiente.....	82
Cuadro 22. Análisis de varianza de la variable fisiológica producción de etileno de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábica y cera de candelilla y mantenidos bajo condiciones de refrigeración y después madurados durante 6 d a temperatura ambiente.....	83
Cuadro 23. Comparación de medias de las variables de velocidad de respiración, producción de etileno y días a pico climatérico de respiración y etileno, bajo diferentes tiempos de refrigeración y diferentes recubrimientos comestibles.....	88
Cuadro 24 Comparación de medias de las variables de velocidad de respiración, producción de etileno y días a pico climatérico de respiración y etileno, bajo diferentes tiempos de refrigeración y diferentes recubrimientos comestibles.....	89
Cuadro 25. Análisis de varianza de las variables fisiológicas etanol y acetaldehído que corresponden a los metabolitos anaerobios de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábica y cera de candelilla y mantenidos bajo condiciones de refrigeración y madurados durante 6 d a temperatura ambiente.....	90

Cuadro 26. Producción de metabolitos anaerobios de frutos de zapote mamey recubiertos con formulaciones de GA y diferentes concentraciones de CC, y almacenados a diferentes tiempos y madurados a temperatura ambiente (22.04 ± 1.60 °C y 59 ± 4.73 %) ($P \leq 0.05$)...	93
Cuadro 27 Análisis de varianza de las variables fisicoquímicas de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábica y cera de candelilla.....	94
Cuadro 28. Efecto del almacenamiento de frutos de zapote mamey bajo recubrimientos comestibles de GA con diferentes niveles de CC, madurados a temperatura ambiente (22.04 ± 1.60 °C y 59 ± 4.73 %).	101

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. (a) Árbol de zapote mamey (b) Frutos en el árbol.....	18
Figura 2. Frutos de zapote mamey.....	22
Figura 3. Comportamiento de la producción de zapote mamey en México (1997-2012), Elaboración propia con datos de SIACON, SIAP-SAGARPA, 2013.....	26
Figura 4. Comportamiento de la viscosidad aparente para emulsiones con 3 niveles de cera de candelilla (6,8 y 10 %). La línea continua indica los valores ajustados de la modelación; ($\diamond$) = 20GA-6CC; (Δ) = 20GA-8CC; ($\circ$) = 20GA-10CC.....	53
Figura 5. Comportamiento gráfico del ángulo de tono y cromaticidad de recubrimientos con 3 niveles de CC (6,8 y 10 %); ($\diamond$) = 20GA-6CC; (Δ) = 20GA-8CC; ($\circ$) = 20GA-10CC..	62
Figura 6. Pérdida de peso acumulado (%) en frutos de zapote mamey después de almacenamiento a 12.79 ± 0.5 °C y 90.7 ± 4.3 % HR y madurados durante 6 d bajo condiciones ambientales (22.04 ± 1.60 °C y 59 ± 4.73 %), Cada punto representa la media de cinco observaciones $\pm$ error estándar. Letras iguales indican diferencia no significancia (Tukey, 0.05).....	81
Figura 7. Velocidad de respiración y producción de etileno en frutos de zapote mamey después de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración por 5, 10, 15, 20 y 25 d a 12.79 ± 0.5 °C y 90.7 ± 4.3 % HR, contados a partir del segundo día posterior a la cosecha. Cada punto representa la media de cinco observaciones $\pm$ error estándar. Las líneas verticales encima de los datos gráficos indican la diferencia significativa honesta (Tukey, 0.05); * Indican diferencia entre medias (Tukey, 0.05); NS = no significativo(Tukey, 0.05).	87

1. INTRODUCCIÓN

El zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq). H.E. Moore & Stearn) es un árbol nativo de las regiones tropicales del sureste de México y Centroamérica que incluye países como Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua (Campbell *et al.*, 1997). El fruto del zapote mamey es demandado para su consumo en fresco (Pennington y Sarukhán, 2005). Por su excelente sabor, goza de un buen aprecio en toda América Central y en Florida, Estados Unidos de América, debido a la presencia de inmigrantes cubanos y centroamericanos (Balerdi *et al.*, 1996; Gazel *et al.*, 1999). El fruto ha sido calificado como exótico (Alia-Tejacal *et al.*, 2007) y su disponibilidad ha sido frecuentemente limitada a mercados locales (Azurdia, 2006), lo cual se debe a su tasa respiratoria, que de acuerdo a la clasificación de Kader (2002) puede ser categorizado como un producto hortofrutícola con alta velocidad de producción de CO₂ ($> 17\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$). La vida postcosecha de frutos de zapote mamey está en el intervalo de 3 a 7 días, lo cual depende de la madurez fisiológica en la cosecha y temperatura de almacenamiento. (Díaz-Pérez *et al.*, 2000).

Actualmente, los consumidores están preocupados por mejorar la seguridad y la salud ambiental, y demandan alimentos de alta calidad sin conservadores químicos y con una vida de anaquel larga, esto lleva a un esfuerzo por encontrar nuevos empaques, conservadores y antimicrobianos naturales. En años recientes, las industrias de alimentos y empaques han unido esfuerzos para reducir la cantidad de materiales de empackado. El uso a

nivel comercial de empaques biodegradables se ha vuelto común en algunas partes del mundo (Carneiro-da-Cunha *et al.*, 2009). Los polímeros naturales pueden ser un recurso alternativo para el desarrollo de empaques, debido a que son biodegradables (Siracusa *et al.*, 2008). Las películas y recubrimientos comestibles han emergido como una alternativa para los plásticos sintéticos en las aplicaciones alimenticias y han recibido considerable atención en años recientes por sus ventajas sobre las películas sintéticas (Bourtoom, 2008).

Ergun *et al.* (2005) reportaron que la utilización de recubrimientos comestibles, para la generación de una atmósfera modificada, en frutos de zapote mamey (cv. Magaña) en combinación con bajas temperaturas lograba mantener la calidad del fruto, permitía una mayor vida de anaquel y mejoraba la apariencia de los frutos.

El objetivo del presente trabajo es diseñar recubrimientos comestibles a base de goma arábica y cera de candelilla y determinar sus propiedades mecánicas y físicas. Posteriormente, aplicar los recubrimientos a frutos de zapote mamey intactos y evaluar el comportamiento postcosecha bajo condiciones de refrigeración y temperatura ambiente. Se postula que el recubrimiento comestible funciona como una cutícula para el fruto. A través del tiempo, los recubrimientos generan una atmosfera modificada en el zapote mamey por la acumulación de CO₂ y la reducción de la disponibilidad de O₂, se plantea que los efectos son una reducción en la velocidad de respiración, una menor pérdida fisiológica de peso y un alargamiento de la vida de anaquel o comercializable del producto.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades sobre los recubrimientos comestibles

Pavlath y Ors (2009) definen a los recubrimientos comestibles como algún tipo de material usado para envolver alimentos para extender la vida de anaquel del producto que puede ser consumido junto con el alimento o ser removido de éste. Los recubrimientos proveen un reemplazo de las capas naturales de los frutos para prevenir la pérdida de humedad, mientras permiten un intercambio selectivo de gases importantes, como son el oxígeno, dióxido de carbono y etileno, los cuales están involucrados en el proceso de respiración.

Los recubrimientos comestibles son capas delgadas de biomateriales aplicados sobre productos alimenticios que juegan un importante papel en su conservación, distribución y mercadeo. Algunas de sus funciones son proteger al alimento de daños mecánicos, físicos, químicos y microbiológicos.

Su uso en aplicaciones alimenticias, especialmente en productos altamente perecederos como son algunos productos hortícolas, se basa principalmente en algunas propiedades particulares como son el costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades (flexibilidad y tensión), propiedades ópticas (brillo y opacidad), el efecto de barrera contra el flujo de gases,

la resistencia estructural al agua y la aceptabilidad microbiológica y sensorial (Falguera *et al.*, 2011).

Krochta *et al.* (1997) hace una definición más precisa de recubrimiento y película porque en muchas ocasiones se utilizan como sinónimos; define a una película como un envase preformado, que va a cubrir a un alimento y al recubrimiento como un envase que se forma directamente sobre la superficie del producto a conservar. Diversos factores pueden contribuir a la capacidad de un recubrimiento comestible para actuar como barrera de gases, que incluyen la composición del recubrimiento, temperatura de almacenamiento y humedad relativa (García *et al.*, 2000; Mexis *et al.*, 2009).

Las diversas funciones mecánicas y biológicas que deben tener los recubrimientos comestibles estarán en función del tipo de material que se ocupe como material estructural (composición, distribución del peso molecular), las condiciones bajo las cuales son elaborados (pH, concentración de los componentes y temperatura) y el tipo y concentración de aditivos (plastificantes, agentes ligantes, antimicrobianos, antioxidantes o emulsificantes) (Guilbert *et al.*, 1996; Rojas *et al.*, 2009).

2.2 Tipos de polímeros utilizados como recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles son clasificados de acuerdo a su material estructural. De esta forma, existen recubrimientos basados en proteínas, lípidos, polisacáridos o compuestos (Krochta *et al.*, 1994). Éstos son principalmente usados para mejorar la apariencia de los alimentos y en la conservación de las frutas porque proveen barreras selectivas contra la respiración, pérdida de humedad y deterioro (Ali y Mahmud, 2008; Ali *et al.*, 2011).

La producción de películas y recubrimientos comestibles por la combinación de varios polisacáridos, proteínas y lípidos es considerada con el objetivo de tomar ventaja de las propiedades de cada componente y la sinergia entre ellos. Las propiedades mecánicas y de barrera de estos recubrimientos no dependen únicamente de los compuestos utilizados en la matriz polimérica, sino que también depende de su compatibilidad (Altenhofen *et al.*, 2009).

La optimización de la composición de recubrimientos comestibles es uno de los pasos más importantes de la investigación en este campo, desde que éstos deben ser formulados de acuerdo a las propiedades de las frutas y vegetales donde se van a aplicar (Rojas *et al.*, 2009). Es por ello que es muy importante caracterizar y evaluar soluciones diferentes de recubrimientos sobre alimentos frescos y mínimamente procesados, debido a que cada uno de ellos tiene diferentes atributos de calidad que se desean mantener durante el tiempo de almacenamiento (Oms *et al.*, 2008).

Los recubrimientos también proveen mayores ventajas que los materiales sintéticos en términos de comestibilidad, biocompatibilidad y toxicidad. Actualmente, las investigaciones han sido guiadas hacia el desarrollo de productos amigables con el ambiente basados en polímeros biodegradables (Maqbool *et al.*, 2011) y se ha enfocado su aplicación en productos alimenticios, especialmente en productos altamente perecederos como son algunos productos hortícolas (Falguera *et al.*, 2011)

2.3 Recubrimientos comestibles basados en polisacáridos

Los polisacáridos no son tóxicos y están ampliamente disponibles, tienen excelente barrera a gases, aromas y lípidos. Forman fuertes recubrimientos y películas, pero debido a su

naturaleza hidrofílica exhiben pobres propiedades de barrera a vapor de agua (Kester y Fennema, 1986; Guilbert, 1986).

Los recubrimientos hechos a base de polisacáridos han sido los más utilizados para recubrir frutos, esto es debido a sus propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad en la superficie de los productos hortofrutícolas (Cuadro 1) (Ramos *et al.*, 2010). Estos recubrimientos pueden ser utilizados para modificar la atmósfera interna, mientras reducen la respiración de frutas y vegetales y retrasar la senescencia (Rojas *et al.*, 2009).

Estos hidrocoloides junto con las proteínas son los biopolímeros más ampliamente investigados en el campo de los recubrimientos comestibles (Falguera *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Clasificación de polisacáridos utilizados como recubrimiento comestible de acuerdo a su fuente de origen y uso alimenticio (se excluye a los almidones)

Tipo de polisacárido	Uso en la tecnología de alimentos
<i>Celulosa y derivados</i>	
• Carboximetilcelulosa	Multipropósito
• Metilcelulosa	Multipropósito
• Hidroxipropilcelulosa	Emulsificante, formador de películas, estabilizante, espesante, agente de suspensión, coloide protector
• Hidroxipropilmetilcelulosa	Emulsificante, formador de películas, estabilizante, espesante, agente de suspensión, coloide protector
• Celulosa microcristalina	Multipropósito
<i>Quitosano</i>	
	Actividad antimicrobiana, empaques de alimentos, controlador de humedad, pardeamiento enzimático y respiración, antioxidante, saborizante
<i>Extractos marinos</i>	
• Agar	Agente saborizante y de secado, estabilizante, espesante, aditivo, humectante
• Alginatos	Estabilizante, espesante, humectante, texturizante, agente de firmeza, adyuvante del sabor, potenciador del sabor
• Carragenina	Emulsificante, estabilizante, espesante
• Furcellarén	Emulsificante, estabilizante, espesante
<i>Pectinas</i>	
	Emulsificante, estabilizante, espesante
<i>Gomas de fermentación microbiana</i>	
• Xantana	Emulsificante, estabilizante, espesante, agente de suspensión
<i>Gomas exudadas</i>	
• Goma arábica	Emulsificante, estabilizante, espesante, agente de suspensión, agente saborizante, texturizante
• Goma gati	Emulsificante
• Goma karaya	Emulsificante, espesante
• Goma tragacanto	Emulsificante, estabilizante, espesante
<i>Goma de semillas</i>	
• Goma guar	Emulsificante, estabilizante, espesante, agente de firmeza
• Goma de algarrobo	Estabilizante, espesante

Fuente: Lacroix y Le Tien, 2005.

Los recubrimientos basados en polisacáridos son incoloros, tienen una apariencia no grasosa y bajo contenido calórico y son utilizados para incrementar la vida de anaquel de frutas, vegetales, productos marinos o productos cárnicos, debido a que evitan la rancidez oxidativa y el pardeamiento de la superficie (Dang *et al.*, 2008).

Los polisacáridos solubles en agua que han sido evaluados o usados para formar recubrimientos y películas incluyen al almidón y derivados de éste, derivados de celulosa, alginatos, gomas de origen vegetal y microbiano, quitosano y pectinatos (Cuadro 1) (Lin y Zhao, 2007).

2.4 Recubrimientos comestibles basados en proteínas

En su estado nativo, las proteínas existen de dos formas: como proteínas fibrilares, las cuales son insolubles en agua y sirven principalmente como material estructural de tejidos animales y como proteínas globulares, que son solubles en agua o soluciones acuosas de ácidos, bases o sales y tienen amplias funciones en los sistemas vivos (Bourtoom, 2008). La capacidad de las diferentes proteínas para formar películas y recubrimientos depende en gran medida de sus características moleculares: peso molecular, conformación, propiedades eléctricas (carga vs pH), flexibilidad y estabilidad térmica (Vargas *et al.*, 2008).

Los recubrimientos comestibles hechos de proteínas de animales (como son las proteínas de la leche) y de plantas (proteína de soya, gluten de trigo y zeína) exhiben excelentes propiedades de barrera a oxígeno, CO₂, generalmente a pH bajo (Baldwin y Baker, 2002).

Estos son frágiles y susceptibles a romperse debido a la fuerte densidad de energía cohesiva de los polímeros (Lim *et al.*, 2002). Al igual que los polisacáridos, los recubrimientos a base de proteínas exhiben características pobres a la permeabilidad de agua, en parte atribuidas a la naturaleza hidrofílica de las proteínas y los plastificantes que son incorporados a la matriz estructural para darle una flexibilidad adecuada (Sothornvit y Krochta, 2001). Las proteínas de mayor relevancia en el campo de los recubrimientos comestibles se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de proteínas utilizadas como recubrimiento comestible de acuerdo a su fuente de origen.

Origen	Tipo de proteína
Animal	Caseína
	Proteína del suero de leche
	Proteínas de la carne
	Albúmina de huevo
	Queratina
Vegetal	Proteína de trigo
	Proteína de soya
	Zeína

Fuente: Danganan *et al.*, 2009.

2.5 Recubrimientos comestibles basados en lípidos

Los compuestos lipídicos utilizados como recubrimientos protectores consisten de monoglicéridos acetilados, ceras naturales y cera de abeja (Cuadro 3). Las sustancias lipídicas más efectivas son la parafina y la cera de abeja. La función primaria de un

recubrimiento lipídico es bloquear el transporte de agua y limitar la migración de la humedad, estas propiedades se deben a la baja polaridad de estas sustancias (Bourtoom, 2008; Morillon *et al.*, 2002).

Cuadro 3. Clasificación de lípidos utilizados como recubrimientos comestibles o componentes de barrera.

Tipo	Descripción
Aceites, grasas, margarinas	Aceites y grasas nativas de vegetales y animales (cacahuete, coco, palma, aceite de semilla de palma, cocoa, grasas lácteas, sebos) Aceites y grasas fraccionadas, reconstituidas y/o concentradas (ácidos grasos, mono-, di-, y triglicéridos)
Ceras	Ceras naturales vegetales y animales: candelilla, carnauba, jojoba, abeja Ceras sintéticas: parafinas, microcristalinas, minerales, polietilénicas oxidadas y no oxidadas
Resinas naturales	Benjuin, chicle, mirra, incienso, resinas styrax
Aceites esenciales	Alcanfor, menta y aceites esenciales de frutas cítricas
Agentes emulsificantes	Lecitinas, mono- y diglicéridos, ésteres de mono- y diglicéridos, sucroésteres de grasas, alcoholes grasos, ácidos grasos

Fuente: Debeaufort y Voilley, 2009.

Las características de los recubrimientos a base de lípidos son su fragilidad y la formación de gruesos recubrimientos que representan un problema en su aplicación a productos alimenticios. Debido a esto, deben estar asociados con agentes formadores de películas y

recubrimientos como son las proteínas o los derivados de celulosa (Debeaufort *et al.*, 1993). Existe una gran cantidad de compuestos lipídicos que son de relevancia en la formulación de recubrimientos comestibles, algunos ejemplos se muestran en el Cuadro 3.

2.6 Goma arábica

La goma arábica, también conocida como goma acacia, es un heteropolisacárido complejo de la familia de los arabinogalactanos que es exudado por árboles del género *Acacia*, principalmente en las regiones subdesérticas de África, desde el cinturón subsahariano situado al norte del ecuador hasta el desierto del Sahara y desde Senegal en el oeste hasta Somalia en el este (Sánchez *et al.*, 2002; Williams y Phillips, 2000). La FAO/WHO Joint Expert Committee for Food Additives (JECFA) define a la goma arábica “como un exudado seco obtenido de los tallos de *A. senegal* L. o especies relacionadas de *Acacia* (familia Leguminosae)” (FAO, 1999).

Las moléculas que componen a la goma arábica se agrupan en tres fracciones de acuerdo a su afinidad hidrofóbica y tamaño de exclusión cromatográfica, los arabinogalactanos (AG) son el primer grupo con ~ 90 % del total, las proteínas arabinogalactanas (AGP), ~ 10 % y las glicoproteínas constituyen ~ 1 % del total de la masa (Randall *et al.*, 1989; Renard *et al.*, 2006). Los carbohidratos estructurales de la goma arábica consisten de una molécula altamente ramificada, que consiste principalmente de una unión 1,3 β -D-galactosa con una ramificación extensiva a través de enlaces 3 y 6 galactosa y 3 arabinosa. Las unidades constituyentes incluyen galactopiranosas, arabinopiranosas, arabinofuranosas, ramnopiranosas,

ácido urónico glucurupiranosil y 4-O-metil ácido urónico glucurupiranosil (Idris *et al.*, 1998). La descripción de las características de la goma arábiga se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Datos analíticos de goma obtenida de árboles de *Acacia senegal*.

Parámetro	Intervalo
Contenido de humedad (%)	12.5 – 16
Rotación específica	Desde -32.7° hasta -27°
Nitrógeno (%)	0.22 – 0.39
Proteína (%)	1.5 – 2.6
Galactosa (%)	39 – 42
Ramnosa (%)	12 – 16
Ácido glucurónico (%)	15 – 16
Masa equivalente (Da)	1,118 – 1,238

Fuente: Idris *et al.*, 1998.

Los usos de la goma arábiga son muy diversos en la industria alimentaria y farmacéutica debido a sus propiedades emulsificantes (Garti, 1999). Dentro de la industria alimentaria, en la confitería es donde se usa como anticristalizante, saborizante, clarificante, agente texturizante (Imeson, 1992; Williams y Phillips, 2000).

Pero, por sus propiedades emulsificantes ha cobrado importancia la goma arábiga como recubrimiento comestible de frutas y hortalizas intactas o mínimamente procesadas. La goma arábiga tiene excelentes propiedades emulsificantes particularmente gracias a su fracción de AGP. La columna hidrofóbica polipéptida adsorbe fuertemente en la interfase, mientras las

unidades de carbohidratos estabilizan la emulsión por medio de repulsiones estéricas y electroestáticas (Ray *et al.*, 1995).

Cuando se usó como recubrimiento comestible, la goma arábica mostró resultados positivos y un retraso significativo en la maduración de manzanas almacenadas bajo refrigeración (El-Anany *et al.*, 2009), además, Ali *et al.* (2010) encontraron que la vida de anaquel y la calidad poscosecha de jitomate verde-maduro se mantuvo durante 20 días en condiciones de almacenamiento a 20 °C.

2.7 Cera de candelilla

La cera de candelilla es una sustancia compleja de origen vegetal, insoluble en agua, pero altamente soluble en acetona, cloroformo, benceno y otros solventes orgánicos, se caracteriza por un alto contenido de hidrocarburos (alrededor del 50 %) y una relativa baja cantidad de ésteres volátiles y es reconocida por la FDA como una sustancia GRAS (Generally Recognized as Safe) para aplicaciones en la industria alimenticia (Saucedo *et al.*, 2007). Esta cera es un derivado de las hojas de un pequeño arbusto nativo del norte de México y el suroeste de los Estados Unidos de América (Toro *et al.*, 2007). El nombre científico de este arbusto es *Euphorbia antisyphilitica* y debe su nombre común de candelilla debido a la forma larga y recta de sus tallos que parecen velas o candiles (Saucedo *et al.*, 2007).

Los usos principales de la cera de candelilla son como agente glasificante y aglutinante de la goma de mascar. También es utilizada en la industria cosmética como componente de los

bálsamos para labios y en la industria de las pinturas para la fabricación de barnices. Adicionalmente la cera de candelilla puede usarse como un sustituto de la cera de carnauba y cera de abeja en los diferentes sistemas alimenticios (Grant, 2005; Toro *et al.*, 2007). Diversos reportes sobre la cera de candelilla muestran que se compone de 49-50 % *n*-alcanos con 29-33 carbonos, 20-29 % de ésteres de alto peso molecular, 12-14 % de alcoholes y esteroides, y un 7-9 % de ácidos libres (Instituto de la Candelilla, 2004). Algunas propiedades fisicoquímicas de la cera de candelilla se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Propiedades fisicoquímicas de cera de candelilla cruda y refinada

Parámetro	Cruda	Refinada
Valor de acidez	12 – 24	12 – 22
Valor de yodo	19 – 45	14 – 27
Número de saponificación	43 – 65	35 – 87
Punto de fusión	66 – 71 °C	67 – 79 °C
Índice de refracción	1.456 @ 71 °C	1.4545 – 1.462 a 85 °C
Material no saponificable	65 – 67	67 – 77
Gravedad específica	0.982	0.885
Punto de flama	241 °C	----

Fuente: Instituto de la Candelilla, 2013.

2.8 Carboximetilcelulosa

Es un polímero aniónico derivado de la celulosa, que es una buena formadora de recubrimientos (Belloso *et al.*, 2005). Ha recibido especial atención por sus aplicaciones en productos hortofrutícolas. Debido a su carácter hidrofílico, alta viscosidad en soluciones

diluidas, buenas propiedades formadoras de recubrimientos, actúa como ligante, coloide protector, estabilizante e inocuidad (Girard *et al.*, 2002; Tzoumaki *et al.*, 2009). Otras cualidades de gran relevancia es que la CMC produce recubrimientos transparentes y brillosos, lo cual es deseable esto es deseable pues permite mantener una apariencia adecuada de los productos (Valle *et al.*, 2008; Olivas y Barbosa, 2009).

2.9 Emulsiones

Dickinson (2003) menciona que una emulsión es definida como una dispersión termodinámicamente inestable de un determinado líquido en otro, cada uno es inmiscible con el otro, usualmente aceite en agua. En la industria alimenticia, ambas fases son comúnmente sistemas complejos que contienen saborizantes, aditivos, sales, antioxidantes, agentes espesantes. De este modo, los agentes emulsificantes y estabilizantes son regularmente agregados para mejorar la estabilidad de la emulsión a través de una estabilización cinética y la disminución de la tensión interfacial (Dolz *et al.*, 2007). La emulsificación implica la creación de una gran cantidad de una nueva interfase líquida (Dickinson, 2009). Los emulsificantes contienen regiones hidrofílicas e hidrofóbicas, de esta manera, éstos se adsorberán en la interfase aceite-agua y como consecuencia estabilizan la emulsión a través de interacciones estéricas y electroestáticas (McClements, 2004; Tcholakova *et al.*, 2006). Los emulsificantes agregados para estabilizar una emulsión pueden inducir interacciones de atracción que afectan las propiedades de cremado y reológicas (Robins *et al.*, 2002) Otra manera de mantener la estabilidad de emulsiones es mediante el incremento de hidrocoloides para incrementar la viscosidad que reduce la movilidad de las gotas de la emulsión (Dolz *et*

al., 2007). Lo descrito previamente se conoce como emulsión simple y existen de dos tipos: (a) emulsiones agua en aceite (W/O), y (b) emulsiones aceite en agua (O/W). Las emulsiones W/O consisten de pequeñas gotas de agua dispersas en un sistema continuo oleoso, por otra parte las O/W tienen un arreglo de gotas de lípido dispersas en una fase continua de agua.

2.10 Reología

La reología es descrita como la ciencia que estudia el flujo y la deformación de materiales (Steffe, 1996). Las mediciones reológicas están diseñadas para estudiar sistemas newtonianos y no newtonianos (Rao, 1999). Las aplicaciones de la reología son importantes en muchas áreas de la industria como son la alimenticia, metálica, plásticos y otros materiales. El resultado de las mediciones reológicas proveen descripciones matemáticas del comportamiento viscoelástico de la materia (Sadiku *et al.*, 2011). El conocimiento de las propiedades reológicas de las emulsiones alimenticias es importante porque varios de sus atributos sensoriales están directamente relacionadas con sus propiedades reológicas (Rao, 1999). El resultado de las propiedades reológicas de muchas emulsiones dependen de varios factores como son la concentración y peso molecular de los biopolímeros, temperatura y tasa de corte (García *et al.*, 2010). Las interacciones entre la interfase de la gotas juega un papel importante en la reología de la emulsión (Mason, 1999).

2.11 Generalidades del zapote mamey

El zapote mamey pertenece a la familia de las Sapotaceae, género *Pouteria*, especie *P. sapota* (Jacq.), es un árbol tropical nativo de México y América central (Figura 1a) (Balerdi y Shaw, 1998; Bautista *et al.*, 2005) que tiene un alto potencial como un fruto comercial alternativo en las regiones tropicales y subtropicales de México (Alia *et al.*, 2007).

El árbol del zapote mamey se puede encontrar a alturas desde 10 hasta 600 msnm en forma abundante, pero se puede desarrollar hasta los 1600 m (Nieto *et al.*, 2010); a alturas mayores es dañado por el frío. En climas calientes y secos necesita riego, no así en climas húmedos. Se desarrolla en lugares donde la temperatura media anual es de 23.6 a 25.6 °C y la precipitación pluvial anual es entre 575 y 2635 mm. Se desarrolla mejor en suelos arenosos, profundos, con buena provisión de materia orgánica y abonos fosfatados y potásicos. Se propaga por semilla tardando entre 8 y 13 años para producir frutos, los cuales también se desarrollan lentamente, pues desde la floración hasta que el fruto alcanza su completo desarrollo transcurre aproximadamente un año y medio (Casas, 1977; CONAFRUT, 1974). El fruto de zapote mamey (Figura 1b) es un buen recurso de nutrientes, además, es altamente apreciado en México y Sudamérica por su dulce sabor y por el color rojo-naranja de su pulpa (Pennington y Sarukhan, 2005). Existe una alta demanda del fruto en Latinoamérica, así como en países como Australia, Israel, Las Filipinas y España (Alia *et al.*, 2007). El término de zapote deriva del Náhuatl “tzapotl” o “tezontzapotl”, que es un término generalmente aplicado a todos los frutos de textura suave y sabor dulce (Alia *et al.*, 2007).



Figura 1. (a) Árbol de zapote mamey (b) Frutos en el árbol.

La principal forma de consumo de este fruto es en fresco, pero también es utilizado para obtener productos procesados como son helados, pulpa congelada, mermeladas, jaleas, sorbetes, diferentes bebidas (Balerdi *et al.*, 1996; Gazel *et al.*, 1999; Toral, 1998). El fruto de zapote mamey tiene un alto contenido de vitaminas y minerales en comparación con otros frutos tropicales como la papaya (Alia *et al.*, 2007), una descripción de su composición nutrimental se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Composición química y nutrimental de frutos de zapote mamey

Parámetro	Contenido por 100 g de porción comestible
Agua	74.73 g
Energía	94 kcal (393 kJ)
Proteína	0.63 g
Lípidos totales (grasa)	0.13 g
Cenizas	0.53 g
Carbohidratos	23.98 g
Fibra dietética total	1.8 g
Azúcares totales	22.18 g
Minerales	
• Calcio	3 mg
• Fósforo	11 mg
• Hierro	0.37 mg
• Sodio	6 mg
• Potasio	130 mg
Vitaminas	
• Vitamina C	94.2 mg
• Niacina	0.653 mg
• Beta caroteno	141 µg
• Beta criptoxantina	58 µg
• Vitamina A	284 UI

Fuente: USDA, 2013a.

2.11.1 Clasificación botánica

Diferentes nombres científicos han sido dados al zapote mamey, aparentemente debido al gran número de géneros y especies agrupados en la familia Sapotaceae a la cual pertenece (Salcedo, 1985), algunos nombres se muestran en el Cuadro 7. El nombre científico

actualizado y que ha sido el más aceptado para este cultivo tropical es *Pouteria sapota* (Pennington, 1991).

Cuadro 7. Nombres científicos del zapote mamey a través del tiempo

Año	Nombre científico
1760	<i>Sideroxylum sapota</i>
1762	<i>Achras mammosa</i>
1763	<i>Achras sapota</i> var. major
1768	<i>Sapota mammosa</i>
1807	<i>Lucuma mammosum</i>
1882	<i>Viterallia mammosa</i>
1884	<i>Lucuma mammosa</i>
1890	<i>Calospermum mammosum</i>
1904	<i>Calocarpum mammosum</i>
1913	<i>Achradelpha mammosa</i>
1923	<i>Calocarpum sapota</i>
1946	<i>Pouteria mammosa</i>
1967	<i>Pouteria sapota</i>
1978	<i>Pouteria mammosa</i>

Fuente: Salcedo, 1985.

La primera clasificación botánica del zapote mamey fue establecida en 1760 por Nikolaus Joseph von Jacquin, ha sufrido diversos cambios en el nombre científico, actualmente su clasificación taxonómica es la que se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Clasificación taxonómica del zapote mamey

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Simpétala
Orden	Ebenales
Familia	Sapotaceae
Género	<i>Pouteria</i> Aubl
Especie	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore & Stearn

Fuente: USDA, 2013b.

2.11.2 Descripción morfológica

El zapote mamey es un árbol erecto, lactífero, con una copa muy amplia, con un tronco central grueso, frecuentemente poco reforzado y unas pocas ramas largas. Crecen de 12 a 18 m, algunas veces alcanzan los 30-40 m de altura. Sus hojas son grandes, 10-30 cm de largo por 4-10 cm de ancho, ovaladas a oblanceoladas, con vértice amplio acuminado, con base afilada, márgenes enteros con ligeras nervaduras y venas laterales con un verde brillante en el haz y un verde claro en el envés, pubescente hasta llegar a ser glabro con el tiempo. Las hojas están en racimos al final de las ramas y son soportadas por largos peciolo (2-5 cm). Las flores son pequeñas de un color blanco a ligeramente crema, hermafroditas, distales, con cinco estambres fértiles, cinéreo de 3 a 5 carpelos, cinco estaminodios, ovario único, estilo y estigma. Las flores son abundantemente producidas sobre inflorescencias cimosas de 5-6 a lo largo de pequeñas ramas. El fruto es una baya, subglobosa, ovoide a elipsoide, de 7-25 cm de longitud, 8-12 cm de ancho (Figura 2), con la punta del ápice gruesa y con pesos que van

desde los 0.2 hasta los 2.7 kg. La cáscara es leñosa, rugosa, escamosa, de un color rojizo-café y de 1-2 mm de grosor. La pulpa de la fruta es de un color naranja intenso, salmón-rosa o rojizo café, con una textura lisa a finamente granular, aromático, dulce, suave y encierra firmemente de 1 a 4 semillas elipsoidales de un café intenso brillante, con un arilo ligeramente café en la zona ventral (CONAFRUT, 1974; Lim, 2013).



Figura 2. Frutos de zapote mamey.

2.11.3 Manejo postcosecha del zapote mamey

En México, los agricultores y vendedores comúnmente mantienen al zapote mamey a temperatura de cuarto (25-27 °C) para la maduración del fruto (González y López, 1998). El fruto de zapote mamey madura entre 6 y 8 d a 20 °C y en 4 d a 25 °C (Alia *et al.*, 2007). Kader (2002) señala que el fruto de zapote mamey tiene pérdidas postcosecha elevadas debido a su alto índice de respiración. Casas (1977), determinó que el zapote mamey presenta la curva típica de los frutos climatéricos madurando entre 6 y 9 días después de la

cosecha, con un máximo de respiración de $160 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $73 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. El zapote mamey se transporta a granel o en cajas de madera en camiones de carga, sufriendo en ocasiones deterioros que acarrearán pérdidas por daños mecánicos (Casas, 1977).

La calidad del fruto de zapote mamey varía mucho en cuanto a peso, tamaño, color, sabor y número de semillas, y depende de la huerta de donde procede, la temporada de la cosecha y el tratamiento que reciba después de ella. A diferencia de los frutos de clima templado, muchos frutos tropicales y subtropicales no han sido estudiados desde todos los puntos de vista. Para el caso del zapote mamey existe información botánica, de usos populares sobre el cultivo. Sin embargo, sólo recientemente se ha iniciado un estudio más formal del comportamiento postcosecha del fruto. Al respecto, se han hecho estudios sobre los cambios durante la maduración y el almacenamiento del fruto (Alia *et al.*, 2000; Díaz *et al.*, 2000), se ha caracterizado el comportamiento bajo distintas condiciones de refrigeración, con lo cual puede alargarse la vida útil entre 7 y 21 d (Alia, *et al.*, 2000, 2005a; Díaz, *et al.*, 2000, 2003; Martínez *et al.*, 2006) de donde se ha desprendido que la temperatura de conservación más baja recomendada es de 12°C . Sin embargo, si la refrigeración se combina con atmósferas controladas, la vida útil se puede alargar hasta 28 d (Martínez *et al.*, 2004, 2008).

El mamey es un fruto sensible a daños por frío (“chilling injury”) (Campbell, 1994). Alia *et al.* (2005a) determinaron el efecto de las bajas temperaturas sobre el metabolismo de maduración de frutos de mamey, se almacenó a los frutos a 15 , 10 y 5°C durante 20 d más 8 d a 20°C . En los tres tratamientos se encontró un patrón climatérico después de 7 días a 20°C . En el tratamiento de 5°C los frutos presentaron daños por frío. Díaz-Pérez *et al.* (2000) evaluaron los cambios físicos y químicos en el fruto del mamey durante la maduración y el

almacenamiento a varias temperaturas. Los frutos que se mantuvieron a 25 °C presentaron un pico climatérico 4 d después de la cosecha; el grado de producción de CO₂ varió de 20 a 50 mg kg⁻¹ h⁻¹ en la etapa preclimatérica y 110 mg kg⁻¹ h⁻¹ en el pico climatérico. La maduración estuvo asociada con el ablandamiento de la pulpa, un incremento en la cantidad de sólidos solubles y un cambio en el color de la pulpa que pasó de amarillo o rosa pálido a rojo o rosa oscuro. Los frutos maduros tuvieron un contenido de sólidos solubles 30 % mayor, el color de la pulpa fue naranja y rojo, la firmeza de la pulpa también disminuyó de 120 N en frutos inmaduros a 50 N en frutos maduros, en los frutos sobremaduros disminuyó hasta 0 N, además la pulpa se tornó café. Los frutos almacenados a 27, 25 ó 20 °C maduraron en 3.5, 5 ó 7 d después de la cosecha, respectivamente. Los frutos almacenados a 10 °C mostraron menos cambios en el color y la firmeza y un aumento menor en el contenido de sólidos solubles. Los frutos almacenados a 10 ó 15 °C y luego madurados a 20 °C tuvieron porciones de pulpa con una firmeza más alta y menos desarrollo de color rojo en relación a otras partes de la pulpa, lo cual se debió probablemente a daño por frío.

Los frutos del zapote mamey son de mucha importancia para la nutrición humana, pues aportan vitaminas, sales minerales, carbohidratos y favorecen la digestión, además de que sus sabores dulces, ácidos y aromáticos, y su textura, los hacen muy aceptables por la mayoría de la gente (Casas, 1977). Asimismo, se ha encontrado que son fuente de polifenoles y carotenoides (Yahia *et al.*, 2011) con lo cual su ingesta contribuye a reducir el estrés oxidativo causado por la presencia de radicales libres. Torres *et al.* (2011) encontraron que los compuestos fenólicos solubles presentes en la pulpa de zapote mamey son el ácido gálico, galocatequina-3-galato y epicatequina y que la fruta puede ser un buen recurso de

compuestos antioxidantes, debido a que existe poca variación en la capacidad antioxidante durante la maduración.

2.11.4 Importancia económica del zapote mamey en México

La época de producción en México comprende de abril a julio y se alcanza un máximo en la producción en los mismos meses, aunque se pueden encontrar frutos durante todo el año. El corte de los frutos se realiza en forma manual, de acuerdo a un índice de madurez utilizado por el productor que consiste en raspar la cáscara para observar el color de la pulpa y saber si el fruto debe ser cortado en ese momento (Casas, 1977).

Esta especie presenta un gran potencial para el mercado de exportación, dadas sus características organolépticas, nutricionales y económicas (Azurdia *et al.*, 1995). La producción en México ha tenido un ascenso constante en los últimos 10 años (Figura 3).

Los principales estados productores en México son Yucatán, Guerrero, Chiapas y Michoacán que en su conjunto aportan el 75 % de la producción nacional de zapote mamey (Cuadro 8). El estado de Yucatán es el principal productor; aporta cerca del 50 % de la producción nacional.

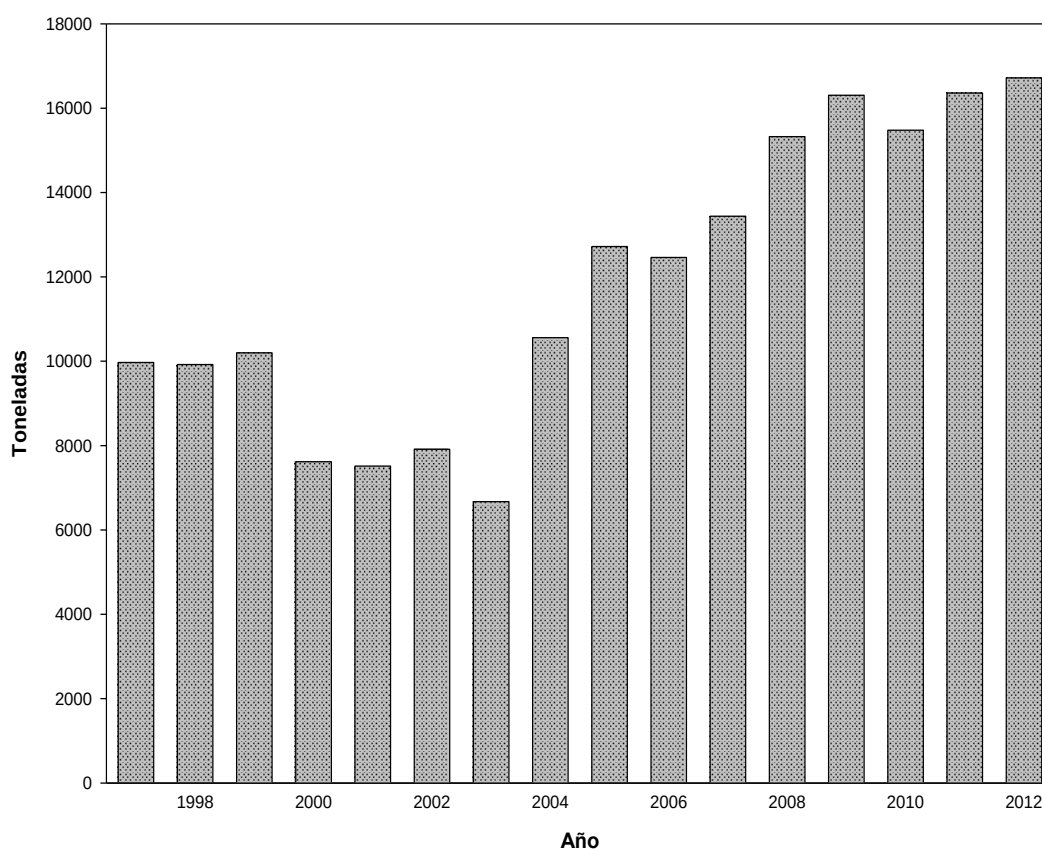


Figura 3. Comportamiento de la producción de zapote mamey en México (1997-2012),
Elaboración propia con datos de SIACON, SIAP-SAGARPA, 2013.

Cuadro 9. Volumen de producción (en toneladas) de zapote mamey de los principales estados productores en México (2003-2012).

ESTADO/ AÑO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
GUERRERO	2.498	2.567,7	1.918,4	2.429	2.367,4	2.234,1	2.270,3	2.303,2
MICHOACÁN	458,8	503,1	481,4	726,2	755,2	667,7	673,7	763,6
YUCATAN	6.280,7	6.441,7	7.533	8.731,5	8.834,1	8.583,7	9.448,3	9.590,9
TOTAL NACIONAL	12.719,1	12.461,6	13.440,1	15.326,2	16.306,1	15.476,8	16.357,2	16.719,7

Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON, SIAP-SAGARPA, 2013.

2.12 Significado y efectos fisiológicos de una atmósfera modificada

Las atmósferas modificadas (AM) y las atmósferas controladas (AC) se refieren a sistemas en los cuales la composición del gas circundante a un producto es diferente a la del aire. La reducción de O₂ y/o incremento del CO₂ están frecuentemente involucradas.

Lo cual puede alterar diversos procesos fisiológicos relacionados con la maduración y senescencia, de tal manera que la vida de anaquel del producto es prolongada (Kader y Saltveit, 2003).

Las atmósferas modificadas (AM) se generan con empaques cuyas paredes o fronteras se forman de películas poliméricas. El empaque en atmósferas modificadas se refiere a la técnica creada mediante la respiración activa de un material biológico en un empaque polimérico cerrado para modificar los niveles de O₂ y CO₂ dentro de la atmósfera del empaque (Mangaraj *et al.*, 2009). El empaque en atmósferas modificadas de productos frescos depende de la modificación de la atmósfera dentro del empaque que se alcanza por la interacción entre dos procesos: la velocidad de respiración de un producto y la permeabilidad del empaque. Estos dos tipos de interacción dan como resultado una modificación de la mezcla gaseosa que rodea al fruto, lo que origina el nombre de esta tecnología de almacenamiento (Brody, 1989; Romojaro *et al.*, 1996; Mangaraj *et al.*, 2009).

El uso de empackado en atmósfera modificada en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas es una importante técnica para reducir pérdidas y mantener la calidad, alargando considerablemente el efecto de las bajas temperaturas (Salvador *et al.*, 2002).

Con base en la revisión de diversas experiencias, Kader (1997) señala que la exposición de un fruto a un ambiente con concentraciones de O₂ y CO₂ menor y mayor a 5 kPa, respectivamente, causa una disminución de la tasa respiratoria, reducción de la tasa de producción y acción del etileno, reducción en la degradación de clorofila y síntesis de antocianinas y carotenoides, reducción de la actividad de enzimas como fenilalanina amonio liasa, polifenoloxidasas y las relacionadas con los procesos de ablandamiento, retardo en pérdida de acidez e incremento de la resistencia a daños por frío. Asimismo, se ha documentado que el uso de ambientes con concentraciones altas de CO₂ (entre 10 y 20 %) es efectivo para la supresión de la mayoría de hongos (Adaskaveg *et al.*, 2002).

Las atmósferas modificadas representan una opción para incrementar la vida útil de los productos hortofrutícolas. En su desarrollo se usan cubiertas, de material generalmente plástico (polietileno de baja densidad, polipropileno, poliestireno, poliamidas, etc.) que por sus propiedades inherentes de permeabilidad selectiva a gases propician una reducción en la disponibilidad de O₂ y un aumento de CO₂ en el ambiente circundante del producto, lo que induce una reducción de la actividad metabólica de este último (Kader, 2002; Yahia, 2008; Siracusa *et al.*, 2008).

2.13 Atmósferas modificadas basadas en recubrimientos comestibles

Las atmósferas modificadas también pueden desarrollarse con el uso de recubrimientos comestibles. Estos materiales se elaboran a base de carbohidratos, lípidos y/o proteínas; se aplican directamente a la superficie de los productos y llegan a formar parte de ellos

(Bosquez *et al.*, 2000; Debeaufort *et al.*, 2000). En semejanza a los plásticos, desarrollan propiedades de permeación selectiva a gases (Amarante y Banks, 2001). Los recubrimientos comestibles generan una atmósfera modificada mediante la creación de una barrera semipermeable a O₂ y CO₂, movimiento de solutos y humedad, de esta manera pueden reducir la velocidad de respiración, de pérdida de agua y de reacciones de oxidación (Martínez *et al.*, 2006), por esto, pueden potencialmente sustituir a los plásticos. Por otro lado, existe una necesidad de reducir el empleo de materiales no biodegradables de empaque, que constituyen un porcentaje importante en la acumulación de desechos sólidos (Risch, 2000).

El consumo actual de plásticos a nivel mundial es de 200 millones de toneladas, con un crecimiento anual de 5 % aproximadamente, esto representa el campo más grande de aplicación para el petróleo crudo. Estos datos enfatizan que la dependencia de la industria de los plásticos está en el petróleo y consecuentemente un incremento en los precios del petróleo crudo y del gas natural tienen una influencia económica sobre el mercado del plástico (www.european-bioplastics.org). Esta situación ha llevado a un incremento importante para utilizar materiales alternativos. Hasta ahora los plásticos derivados del petróleo más utilizados como material de empaque son el polietilentereftalato (PET), policloruro de vinilo (PVC), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y poliamidas (PA) debido a su gran disponibilidad y bajo costo (relativamente), sus buenas propiedades mecánicas, buena barrera a O₂, CO₂ y compuestos volátiles. Sin embargo, actualmente su uso se ha restringido en algunos países porque no son reciclables y/o biodegradables y esto conlleva serios problemas ecológicos (European Bioplastics, 2008; Sorrentino *et al.*, 2007).

Actualmente, se ha generado una tendencia importante para desarrollar sistemas de atmósfera modificada basados en recubrimientos comestibles. La atmósfera modificada creada por los recubrimientos comestibles protegen a los productos alimenticios desde su aplicación hasta que llegan al consumidor final (Durango *et al.*, 2006; Ribeiro *et al.*, 2007). Los recubrimientos comestibles pueden aplicarse en frutos intactos (Díaz *et al.*, 1996; Del-Valle *et al.*, 2005); existen investigaciones de recubrimientos aplicados a fresas (Mali y Grossmann, 2003; Tanada y Grosso, 2005; Ribeiro *et al.*, 2007), mangos (Dang *et al.*, 2008) y jitomate (Casariego *et al.*, 2008; Ali *et al.*, 2010), y en productos mínimamente procesados (Emmambux y Minaar, 2003; Rojas *et al.*, 2007; Chien *et al.*, 2007). Cualquiera que sea el caso, la selección de los componentes de una formulación puede obedecer a distintas motivaciones: si se busca reducir la pérdida de humedad del producto se recomienda usar un lipocoloide y, si el objetivo es controlar el flujo de gases tales como O₂ o CO₂ es frecuente el uso de hidrocoloides (Debeaufort *et al.*, 2000). A menudo se requiere un doble propósito, por lo que es deseable un equilibrio de ambos tipos de materiales y esto sugiere la selección de compuestos que favorezcan el control de un balance hidrofílico-lipofílico (BHL).

En el Departamento de Ingeniería Agroindustrial se ha ganado experiencia en el manejo de recubrimientos comestibles. Entre los distintos trabajos resalta el desarrollo de una película basada en goma arábica, carboximetilcelulosa y glicerol que, a partir de la evaluación de sus propiedades de barrera a gases, mecánicas y de transmisión de luz ha mostrado un potencial adecuado para ser aplicada a frutos para el desarrollo de sistemas de atmósfera modificada y conseguir el alargamiento de la vida útil de los mismos (Valle *et al.*, 2008). Por sus constituyentes, esta película se comporta como un hidrocoloide, lo que le produce una fuerte afinidad por el agua y se cree que, para funcionar adecuadamente como material de

empaque, debe ostentar un equilibrio en el BHL, lo que puede lograrse con la adición de ácidos grasos, como lo demostraron Ayranci y Tunc (2001) con el uso de un recubrimiento basado en celulosa con la adición de ácido esteárico.

3. JUSTIFICACIÓN

El fruto del zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) se consume principalmente en fresco, encontrándose en el mercado frutos sobremaduros, fermentados o infestados debido a que existen pocas investigaciones sobre las condiciones óptimas de almacenamiento del fruto fresco, que permitan controlar la maduración, mejorar la calidad y alargar la vida útil del fruto.

Kader (2005) hace una descripción detallada de las pérdidas postcosecha que se dan de forma cualitativa y cuantitativa en los cultivos hortofrutícolas entre la cosecha y el consumo en los países en vías de desarrollo (Cuadro 10). El alto porcentaje de pérdidas considera todos los tipos de productos hortofrutícolas, lo que sugiere que en algunos materiales la magnitud de pérdidas puede ser significativamente mayor y dentro de ese grupo se encuentra el zapote mamey, lo que propone la necesidad de impulsar investigaciones enfocadas al mejoramiento de técnicas de acondicionamiento y conservación para el alargamiento de la vida útil.

Cuadro 10. Pérdidas poscosecha estimadas de productos hortofrutícolas frescos en países en vías de desarrollo.

Lugar	Intervalo (%)	Media (%)
De producción al minorista	5-50	22
En punto de venta y sitios de consumo	2-20	10
Acumulado total	7-70	32

Fuente: Kader, 2005.

Con este contexto se han desarrollado algunos trabajos que aportan elementos sobre el comportamiento de este material, principalmente bajo condiciones de refrigeración y en forma combinada con atmósferas controladas. Así, se ha encontrado que la temperatura mínima óptima de almacenamiento es 12 °C y se han caracterizado los daños por frío (Alia *et al.*, 2005a, 2005b). Asimismo, se han descrito algunos cambios fisiológicos y fisicoquímicos que ocurren al fruto en postcosecha (Díaz *et al.*, 2000, 2003). Aunque se ha demostrado que un almacenamiento combinado de refrigeración (12 °C) y atmósfera controlada (5 % O₂ y 2 % CO₂) Martínez *et al.*, (2008) puede prolongar la vida de anaquel del zapote mamey por más de 20 días. Este tipo de sistema de almacenamiento requiere de una gran infraestructura, que es muy costosa para los productores, por lo que es necesario consolidar técnicas postcosecha más económicas y fáciles de implementar, como son las atmósferas modificadas.

En el tenor de las atmósferas modificadas se tienen dos vertientes: el uso de películas plásticas y el uso de recubrimientos comestibles. En virtud de que el fruto de zapote mamey carece de cutícula, se cree que la aplicación de un recubrimiento comestible podría fungir como cutícula y de esta forma reducir el intercambio de gases con el ambiente y con ello crear, a nivel de atmósfera interna, un ambiente de atmósfera modificada que podría ser beneficioso en el alargamiento de la vida útil, además de que representaría una estrategia sencilla de aplicar. No obstante, la tecnología de recubrimientos comestibles enfrenta retos similares a la de uso de películas plásticas, específicamente en relación a la necesidad de controlar la permeabilidad a O₂, CO₂ y vapor de agua, pues se debe evitar abatimientos excesivos de O₂, elevaciones no adecuadas de CO₂ y reducir la pérdida fisiológica de peso. En contraste con el caso de las películas comestibles, el manejo de recubrimientos presenta

un problema doble; por un lado deben controlarse las propiedades de barrera a gases (O_2 , CO_2) y, por otro, debe controlarse el balance hidrofílico-lipofílico (BHL) que determina la adherencia y la barrera a vapor de agua. La experiencia adquirida con algunas películas es que, si el BHL es muy alto, los tiempos de polimerización y secado son altos y pueden causarse problemas de deshidratación del producto. Aún cuando un recubrimiento se aplique sobre un fruto intacto es necesario indagar sobre el efecto integral de todos estos factores.

El presente trabajo propone la aplicación de recubrimientos comestibles a base de goma arábica y cera de candelilla sobre frutos intactos de zapote mamey para crear un efecto de atmósfera modificada en el producto. Se postula que al recubrirlo con un material polimérico se crea una capa con propiedades similares a la cutícula y se plantea la hipótesis que el efecto es la reducción de la velocidad de respiración, la disminución de la pérdida fisiológica de peso y el alargamiento de la vida útil postcosecha. Se adecuaron las propiedades de barrera del recubrimiento (vapor de agua, oxígeno y CO_2) a las características del fruto; las propiedades del recubrimiento se determinaron previamente y se observó el efecto que tuvo sobre frutos de zapote mamey

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivos generales

1. Desarrollar recubrimientos para zapote mamey a partir de emulsiones de goma arábica –cera de candelilla con propiedades físicas y mecánicas que permitan alargar la vida útil postcosecha de frutos de zapote mamey.
2. Caracterizar las emulsiones a través de evaluaciones reológicas, físicas y mecánicas.
3. Evaluar el efecto de los recubrimientos en frutos de zapote mamey intactos en la maduración bajo condiciones combinadas de refrigeración y temperatura ambiente.

4.2 Objetivos particulares

- Determinar las mezclas adecuadas de biopolímeros (goma arábica y cera de candelilla) para obtener emulsiones estables, que permitan obtener recubrimientos comestibles adecuados a las características del fruto de zapote mamey.

5. CARACTERIZACIÓN DE EMULSIONES Y PELÍCULAS COMESTIBLES A BASE DE GOMA ARÁBIGA Y CERA DE CANDELILLA

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades de emulsiones y películas comestibles elaboradas a partir de goma arábica y cera de candelilla para aplicarse a frutos de zapote mamey intactos. Se analizó y determinó el tamaño de gota y el comportamiento de flujo de las emulsiones, y las propiedades físicas y mecánicas de las películas, formadas a partir de las emulsiones. El modelo de Carreau describió el comportamiento de flujo y mostró que las emulsiones 20GA-8CC y 20GA-10CC fueron pseudoplásticas, y la emulsión de 20GA-6CC tuvo un comportamiento cercano al newtoniano. Se encontró que la viscosidad aparente fue de 4 a 6 Pa·s en 20GA-6CC y 20GA-8CC y se incrementó a 105 Pa·s en el tratamiento 20GA-10CC. El tamaño de gota se incrementó directamente proporcional al aumento en el contenido de cera de 1.03 μm a 2.2 μm . La permeabilidad a vapor de agua de las películas fue estadísticamente significativa en el tratamiento 20GA-10CC ($8.1 \times 10^{-12} \text{ g m Pa}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), en comparación con las películas con 20GA-8CC y 20GA-6CC ($14 \times 10^{-12} \text{ g m Pa}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). La luminosidad y el ángulo de tono disminuyeron proporcionalmente al aumento del contenido de cera en la película, mientras que la cromaticidad se incrementó en relación directa al contenido de cera en la películas el grosor mostró un comportamiento similar desde 0.23 hasta 0.33 mm.

Palabras clave: Emulsiones, película comestibles, goma arábica, cera de candelilla

5.1 Introducción

En años recientes, la investigación en empaques alimenticios se ha enfocado bastante en los empaques biodegradables, que incluye a aquellos elaborados a partir de los recursos vegetales (Seydim y Sarikus, 2006). Este interés se debe a la preocupación por el ambiente y por la necesidad de reducir los volúmenes de empaques desechables, también por la demanda de los consumidores de productos alimenticios de alta calidad (Kim y Ustunol, 2002). Los recubrimientos comestibles generados a partir de recursos renovables como lípidos, carbohidratos, y proteínas pueden funcionar como barreras al vapor de agua, gases y otros solutos y también como acarreadores de muchos ingredientes funcionales como son los antioxidantes y antimicrobianos y de esta manera extender la calidad y vida de anaquel de frutas y vegetales frescos y mínimamente procesados (Lin y Zhao, 2007).

La goma y la cera de candelilla ofrecen una alternativa como recubrimientos comestibles de frutas y hortalizas (Maqbool *et al.*, 2011a, Ali *et al.*, 2010; Jiang *et al.*, 2013; Saucedo *et al.*, 2007, 2009;). Debido a que se ha demostrado que el uso de la goma arábiga como recubrimiento comestible aumenta la vida de anaquel en frutos de jitomate (Ali *et al.*, 2010; 2013), plátano (Maqbool *et al.*, 2011b), y manzanas (El-Anany *et al.*, 2010).

La goma arábiga es un polisacárido complejo formado a partir de arabinogalactanos, que contiene alrededor del 2 % de proteína, que se obtienen como un exudado viscoso a partir de tallos y ramas de árboles de Acacia cuando éstos son sujetos a estrés (Idris *et al.*, 1998) y su uso en la industria alimenticia se debe a sus propiedades emulsificantes, formadoras de películas y encapsulantes (Motlagh *et al.*, 2006).

Así mismo, la cera de candelilla es una sustancia compleja de origen vegetal, insoluble en agua pero soluble en solventes orgánicos. Se caracteriza por tener una alta cantidad de hidrocarburos, tiene una cantidad relativamente baja de ésteres volátiles, y es una sustancia reconocida por la FDA como GRASS para aplicaciones en la industria alimentaria (Saucedo *et al.*, 2007).

Actualmente, las investigaciones de la aplicación de goma arábiga y cera de candelilla como recubrimientos comestibles se han centrado en evaluar los efectos fisiológicos en frutas y hortalizas (Ali *et al.*, 2010, 2013; El-Anany *et al.*, 2010; Maqbool *et al.*, 2010, 2011; Saucedo *et al.*, 2009). Existe poca información de las propiedades de barrera a gases y vapor de agua de recubrimientos comestibles a base de goma arábiga (Valle *et al.*, 2008). Asimismo, el estudio de las propiedades reológicas y descripción de mezclas de gomas y ceras es aún muy incipiente, pocos trabajos abordan una descripción detallada en el diseño de la mezcla de éstos polímeros utilizados como recubrimientos comestibles (Bosquez *et al.*, 2003, 2006, 2010).

De esta manera, el propósito de este estudio fue formular y conocer las características de emulsiones de goma arábiga con diferentes concentraciones de cera de candelilla y observar el efecto de la adición de la cera sobre las propiedades mecánicas y físicas de películas comestibles formadas a partir de las emulsiones caracterizadas. Para que posteriormente, las emulsiones con las mejores características se apliquen en frutos de zapote mamey y funcionen como recubrimientos comestibles.

5.2 Materiales y métodos

5.2.1 Materiales utilizados en la investigación. La goma arábiga (*Acacia senegal* L.) en polvo y la cera de candelilla en trozos sin refinar (*Euphorbia antisiphilitica*) fueron adquiridas en Central de Drogas S.A (México, D.F), el glicerol fue adquirido de Reactivos Meyer (Química Suastes S.A de C.V, México, D.F) y el Span 60[®] (sorbitan monoestearato) se adquirió de Sigma Aldrich (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, EUA). En todas las emulsiones se utilizó agua destilada.

5.2.2 Preparación y evaluación de formulaciones de emulsiones

5.2.2.1 Fase preliminar. Las formulaciones se desarrollaron bajo un trabajo evolutivo, en el cual se exploraron las concentraciones adecuadas de goma arábiga como fase continua y cera de candelilla como fase dispersa, que actuaron como componentes principales para la formación de emulsiones aceite en agua (O/W), además del glicerol que se utilizó como biopolímero plastificante en todas las emulsiones y carboximetilcelulosa que funcionó como agente clarificante. A partir de la formulación propuesta por Valle *et al.* (2008), que consistió en una emulsión con 30 % (p/p) de goma arábiga (GA), 0.5 % de carboximetilcelulosa (CMC) y 15 % de glicerol (GL).

Se diseñaron diversas formulaciones a partir de y se agregó la cera de candelilla (CC) como agente lipofílico para reducir la permeabilidad a vapor de agua (Cuadro 11).

A cada formulación se le evaluó el color de manera visual, su capacidad para la formación de recubrimientos y apariencia visual del recubrimiento.

Cuadro 11. Composición de las emulsiones (p/p) elaborados a partir de diferentes concentraciones de goma arábica y cera de candelilla, como parte del trabajo evolutivo de las emulsiones.

COMPONENTE (%) / FORMULACIÓN	CMC	GOMA ARÁBIGA	CERA DE CANDELILLA	GLICEROL	SPAN
Formulaciones con 25 % de goma arábica					
25 GA-6CC	0.5	25	6	13	1.2
25GA-8CC	0.5	25	8	13	1.6
25GA-10CC	0.5	25	10	13	2.0
Formulaciones con 20 % de goma arábica					
20 GA-6CC	0.5	20	6	13	1.2
20GA-8CC	0.5	20	8	13	1.6
20GA-10CC	0.5	20	10	13	2.0
Formulaciones con 15 % de goma arábica					
15 GA-6CC	0.5	15	6	13	1.2
15GA-8CC	0.5	15	8	13	1.6
15GA-10CC	0.5	15	10	13	2.0

5.2.2.2 Emulsiones de goma arábica y cera de candelilla. Se desarrollaron de acuerdo a la metodología descrita por Bosquez *et al.* (2003) con algunas modificaciones. Para la fase continua de las emulsiones, se hidrataron por separado la GA y la CMC durante 48 horas, con agitación magnética en porciones iguales de agua. Posteriormente se mezclaron y agitaron durante 1 hora a temperatura ambiente (21 °C) en un equipo de agitación (Caframo Ltd. modelo: RZR1-64, Wiarton, Ontario, Canadá). En esta etapa se agregó gota a gota el GL.

Para la fase dispersa; se calentó la CC a 70 °C a baño maría, posteriormente se adicionó emulsificante Span 60[®] en una proporción de 20 % (p/p) respecto al peso de total de la CC. Inmediatamente, la fase continua (GA-CMC-GL-agua) se colocó en un vaso de aluminio de 250 mL y se agitó con un equipo Ultra-Turrax (T50 Basic, IKA-Labor Technik, Staufen,

Alemania) a 8,800 rpm. Se agregó gota a gota la mezcla líquida de cera de candelilla y emulsificante y se homogenizó durante 7 minutos, y una vez elaborada la emulsión, se enfrió a temperatura ambiente durante 12 horas. Después, se desarrollaron dos tipos de evaluaciones; la caracterización de las propiedades reológicas de las emulsiones, las cuales se realizaron después de 36 horas de elaboradas las emulsiones y la caracterización de las películas comestibles.

5.2.2.3 Tamaño de gota de las emulsiones. Se obtuvo mediante la técnica de dispersión laser en un equipo analizador de tamaño y distribución de partícula (Malvern Instruments, Ltd., modelo: Mastersizer 3000, Worcestershire, RU). El diámetro volumétrico medio superficial ($d_{3,2}$) fue determinado por la ecuación (1) (Malvern Instruments, Ltd., 1991)

$$d_{3,2} = \left(\frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} \right) \quad (1)$$

Donde:

n_i : Es el número de partículas con diámetro d_i , ambos datos son provistos por el software del equipo.

Cada una de las emulsiones fue evaluada por quintuplicado (Bosquez *et al.*, 2010).

5.2.2.4 Comportamiento de flujo. Con objeto de determinar el efecto de las propiedades reológicas de las emulsiones sobre las propiedades finales de los recubrimientos, se realizaron pruebas de flujo de las emulsiones en un reómetro (Anton Paar, modelo: Physica MCR 301, Graz, Austria), equipado con un sistema de medición cono-plato CP50-1 de 50 mm de diámetro y con ángulo de 1° . Muestras de las diferentes emulsiones fueron colocadas

cuidadosamente en el sistema de medición, se dejaron en reposo durante 15 min. para estabilizar la muestra y equilibrar la temperatura. Se aplicó una tasa de corte desde 10^{-3} hasta 10^3 s^{-1} a una temperatura de 25 °C. Se obtuvieron curvas de viscosidad aparente vs tasa de corte de las emulsiones, las cuales fueron ajustadas a los modelos matemáticos de Carreau, Yasouda-Carreau, Casson, y Cross, respectivamente (Bosquez *et al.*, 2010).

5.2.3 Elaboración y evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las películas comestibles a base de GA y CC

Para la formación de las películas comestibles se tomaron 4.5 g de cada emulsión elaborada como se describió en la sección 5.2.2.2 y se vaciaron en cajas petri (Kimble Kimax, Vineland, NJ, EUA), inmediatamente se colocaron las cajas en una estufa de secado (Mettler GmbH & Co. modelo: ULM 500, Schwabach, Alemania) a 40 °C, durante 24 h para formar las películas comestibles. Una vez obtenidas las películas, se removieron de las cajas petri con la ayuda de una espátula y se colocaron en un desecador de vidrio, donde se mantuvieron a 22 °C en un ambiente de baja HR (30%), con la ayuda sílica gel, durante 48 h antes de determinar sus propiedades mecánicas y la caracterización de sus propiedades de barrera a vapor de agua, grosor, y color.

5.2.3.1 Permeabilidad al vapor de agua. A cada uno de las películas comestibles se le determinó la permeabilidad a vapor de agua (PVA) de acuerdo con el método ASTM E-96-80, conocido como “método de copa”, con las modificaciones propuestas por Bosquez *et al.* (2003) y las correcciones para películas hidrofílicas propuesto por Gennadios *et al.* (1994). Se colocaron vasos de precipitados de vidrio (8.35 cm de alto y 4.93 cm de diámetro) dentro de un desecador de doble fondo, en el cual se monitoreó la humedad relativa (HR) y la

presión a una temperatura constante (25 ± 2 °C) con un sensor de HR y T° (Nielsen-Kellerman Co., modelo: Kestrel 400, Boothwyn, PA, EUA) La humedad relativa interna (dentro del vaso) fue de 94 % (HR_i) que se logró a partir de una solución saturada de K₂SO₄ y la humedad relativa externa fue de 62.07 % (HR_e), alcanzada mediante el uso de una solución saturada de K₂CO₃, colocada en la parte inferior del desecador. Los recubrimientos se colocaron en los vasos de prueba, que contenían 35 mL de la solución de K₂SO₄, los cuales fueron sujetos con bandas de goma y sellados. Se registró el peso inicial y las celdas de prueba (vasos) se transfirieron a la cámara de ambientación (desecador) que ya estaban acondicionados a la HR_e. La cinética de pérdida de peso de la copa fue monitoreada en lapsos de 2.5 h durante 24 h con una balanza analítica (Ohaus Corporation, modelo: AS120, Pine Brook, NJ, EUA).

Para los cálculos de permeabilidad a vapor de agua, primero se determinó la tasa de transferencia a vapor de agua, conocida como WVTR (water vapor transmission rate, por sus siglas en inglés) mediante una regresión lineal simple de los datos experimentales. La WVTR fue determinada y se expresó en unidades de $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, una vez obtenido este valor, se obtuvo la permeancia de cada uno de las películas con la Ecuación (2).

$$\text{Permeación} = \frac{WVTR}{P_{A_1} - P_{A_2}} [=] \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1} \quad (2)$$

Donde:

P_{A₂}: Es la presión parcial del vapor de agua por encima de la película.

P_{A₁}: es la presión parcial por debajo de la película, para obtenerla se utilizó la ecuación (3)

$$P_{A_1} = (P - P_{A_0})e^{\frac{WVTR \times R \times T \times Z}{P \times D}} \quad (3)$$

Donde:

P_{A_1} : Presión en la superficie interior de la película (Pa)

P : Presión atmosférica en Chapingo (77,993Pa)

P_{A_0} : Presión en la superficie del agua o presión de vapor saturado (Pa)

$$P_{A_0} = 4.84T^2 - 52.24T + 1449.63 \quad (T \text{ en } ^\circ\text{C})$$

WVTR: tasa de transferencia de vapor de agua expresado en moles·m⁻²·s⁻¹

R : Constante universal de los gases 8.314J·mol⁻¹·K⁻¹

T : Temperatura (en K)

Z : Altura del espacio de cabeza dentro de la copa (m)

D : Difusividad del agua en el aire (m² s⁻¹)

$$D = 22.441 \times 10^{-13} \cdot T^{2.8696} \quad (T \text{ en K})$$

Finalmente, la permeabilidad al vapor de agua (PVA) de cada de uno de las películas se calculó mediante la relación:

$$PVA = \text{Permeación} \times \text{espesor} [=] \text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$$

5.2.3.2 Color de las películas comestibles. Se midió con un colorímetro (Minolta Camera Co., Ltd, modelo CR-103, Osaka, Japón) en escala CieLab. Se determinaron los parámetros L*, a y b, con una iluminación estándar D65 y ángulo de observador de 10°. Con los

parámetros a y b se determinó el ángulo de matiz (Hue) y la cromaticidad (C*) (ecuaciones 4 y 5) (McGuire, 1992).

$$H^* = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (4)$$

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5)$$

5.2.3.3 Espesor de las películas comestibles. Se determinó con un micrómetro digital (Mitutoyo Corp., modelo IP-65 código 274-314, Kanagawa, Japón) con una precisión de 0.001 mm en 5 puntos aleatorios de las películas comestibles y con éstos se determinó el valor promedio de cada una de ellas.

5.2.3.4 Fuerza en tensión y porcentaje de elongación. Se siguió el método estándar de la ASTM D882-91 (ASTM, 2000) para determinar la fuerza en tensión y el porcentaje de elongación de las películas con un equipo analizador de textura universal (Stable Micro Systems Ltd., modelo TA-XT2i, Surrey, RU) provisto de pinzas para tensión en una rutina de medición de fuerza en tensión, con una distancia de 30.0 mm y con velocidad de pre-ensayo, ensayo y post-ensayo de 2.0, 1.0 y 2.0 mm s⁻¹ respectivamente, las películas se cortaron en listones de 2.5 cm de ancho por 8 cm de ancho y se almacenaron a 30 °C y 50 % de humedad relativa durante 48 horas antes de la prueba. Los valores de fuerza en tensión (FT) fueron calculados con la Ecuación (6) y el porcentaje de elongación (E%) con la Ecuación (7) (Valenzuela *et al.*, 2013).

$$FT=N/m^2 \quad (6)$$

Donde:

FT es la fuerza en tensión, expresada en MPa

N es la fuerza máxima en el punto de ruptura del recubrimiento

m^2 es el área de la sección transversal del recubrimiento

$$E \% = \frac{D_f - D_i}{D_i} \times 100 \quad (7)$$

Donde

D_f es la distancia de elongación en el punto de ruptura del recubrimiento

D_i es la distancia inicial del recubrimiento

5.3. Análisis estadístico

Los resultados consistieron de dos secciones: la caracterización de las emulsiones y la caracterización de las películas. En las emulsiones se realizó un modelado matemático para determinar las propiedades de las emulsiones, estas se evaluaron bajo un diseño completamente al azar (DCA). De igual manera, las propiedades de las películas comestibles que se determinaron fueron evaluadas mediante un DCA. En ambas etapas se realizó un análisis de varianza y pruebas de contraste de medias con el estadístico de Tukey ($P \leq 0.05$). Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS versión 9.02 (SAS Institute, Cary, Carolina del Norte, EUA, 2010).

5.4 Resultados y discusión

5.4.1 Fase preliminar

El trabajo evolutivo permitió determinar la proporción adecuada de biopolímeros para la elaboración de emulsiones que formaban películas comestibles. Las características se determinaron a partir de la apariencia visual y la capacidad que tuvieron las emulsiones para formar películas (Cuadro 12). Se encontró que la proporción adecuada de biopolímeros para 100 g de emulsión fue de 20 % GA, 0.5 % de CMC y 13 % de glicerol como agente plastificante, que en su conjunto conformaron la fase continua de las emulsiones. La fase dispersa de las emulsiones estuvo constituida por tres niveles de cera de candelilla (6, 8 y 10 %) y como emulsificante se utilizó Span 60[®] que se agregó en una proporción de 20 % (p/p) respecto al peso total de la CC.

Se seleccionaron las emulsiones 20GA-6CC, 20GA-8CC Y 20GA-10CC, debido a que éstas sí formaron películas comestibles con propiedades adecuadas de color y flexibilidad (Cuadro 12).

Cuadro 12. Propiedades de las emulsiones elaboradas a partir de diferentes concentraciones de GA y CC, como parte del trabajo evolutivo.

Formulación	Formación de película	Color	Apariencia de la película
25 GA-6CC	Si	Blanco	Quebradiza
25GA-8CC	Si	Blanco	Quebradiza
25GA-10CC	No	Café	Cerosa
20 GA-6CC	Si	Blanco	Flexible
20GA-8CC	Si	Café Tenue	Flexible
20GA-10CC	Si	Café Tenue	Flexible
15 GA-6CC	No	Blanco	-
15GA-8CC	No	Blanco	-
15GA-10CC	No	Blanco	-

5.4.2 Caracterización de las emulsiones

La evaluación de las emulsiones consideró dos parámetros: las curvas de flujo y el tamaño de gota de las emulsiones que conforman las determinaciones reológicas que se realizaron a las emulsiones. Con las curvas de flujo se determinó las características reológicas de cada una de las emulsiones mediante la modelación de los datos experimentales obtenidos del reómetro.

5.4.2.1 Comportamiento de flujo. Las curvas de viscosidad aparente- tasa de corte de las emulsiones de GA y CC se muestran en la Figura 4, en ella se puede observar a la viscosidad aparente en función de la tasa de corte. Todas las curvas de flujo de las emulsiones exhibieron un comportamiento de adelgazamiento al corte con una viscosidad constante a bajas tasas de corte, lo cual es característico de un fluido pseudoplástico (Dolz *et al.*, 2007).

Se ha demostrado que soluciones de goma arábica en un amplio intervalo de concentraciones presenta un comportamiento de un fluido newtoniano debido a la alta ramificación de arabinogalactanos (que componen cerca del 90 % de la masa total) cuando es sometido a altas tasas de corte, mayores a 50 s^{-1} (Li *et al.*, 2009, 2011). Sin embargo, se ha observado que a bajas tasa de corte, las soluciones de goma arábica presenta un comportamiento de adelgazamiento al corte. La viscosidad aparente de una solución de goma arábica va desde valores de 100 Pa·s en soluciones acuosas con 30 % (p/p), de 10 Pa Pa·s en soluciones de 20 % (p/p) mientras que muestra viscosidades menores a la unidad cuando su concentración es menor al 12 % (p/p) (Li *et al.*, 2009). Asimismo, a concentraciones elevadas de goma arábica, las soluciones presentan un comportamiento newtoniano, lo cual indica que a altas concentraciones de goma arábica, el comportamiento de adelgazamiento al corte desaparece y se vuelve newtoniano (Li *et al.*, 2011). Esto se debe al alto grado de ramificación y repulsiones estéricas de las macromoléculas ramificadas pues disminuye la capacidad de formar entrelazados en comparación con las secciones lineales de la molécula (Thompson *et al.*, 2000).

Los resultados muestran que la composición de las emulsiones, especialmente la CC, pues a bajas tasas de corte (10^{-3} - 10^{-1} s^{-1})- mostraron un comportamiento newtoniano (Figura 4). Donde, el tratamiento 20GA-10CC presentó los mayores valores de viscosidad aparente ($\eta_0 = 105 \text{ Pa}\cdot\text{s}$); seguido de las emulsiones 20GA-6CC y 20GA-8CC con η_0 de 6.17 y 4.91 Pa·s, respectivamente.

Li *et al.* (2009) mencionaron que altos contenidos de goma arábica provocan un comportamiento de flujo newtoniano, esto explica porque la emulsión con el menor contenido de cera (6 % de CC) presentó un comportamiento irregular, pues a bajas tasas de

corte (de 10^{-3} a 10^{-2} s^{-1}) mostró un comportamiento de adelgazamiento al corte (Figura 4), lo cual ha sido reportado previamente (Mothè y Rao, 1999; Sánchez *et al.*, 2002; Weinbreck *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2009), pero cuando se aumentó la tasa de corte ($>10^{-2} \text{ s}^{-1}$) éste se comportó como un fluido newtoniano. Por lo que, la adición de un componente lipídico a la emulsión de 6 % de CC no provocó un cambio en el comportamiento viscoelástico del tratamiento 20GA-6CC y se comportó de acuerdo a lo reportado por Li *et al.* (2009) en soluciones de goma arábica con la misma concentración que la utilizada en el presente estudio.

Con bajas tasas de corte ($< 10^{-2}$), los tratamientos de 8 y 10 % de CC exhibieron un comportamiento newtoniano, esto contrasta con lo mostrado en emulsiones de goma arábica sometidas a bajas de tasas de corte, que presentan un comportamiento de adelgazamiento al corte (Li *et al.*, 2009), pero similares a los mostrados por Desplanques *et al.* (2012) en mezclas de goma arábica-goma xantana. Sin embargo, el tratamiento 20GA-6CC sí mostró un comportamiento similar al descrito por Li *et al.* (2009) a bajas tasas de corte (Figura 4).

No obstante, a tasas de corte dentro del intervalo de 10^{-2} hasta 10^2 s^{-1} los tratamientos 20GA-8CC y 20GA-10CC presentan un comportamiento de adelgazamiento al corte, esto se comprobó a través de los valores de m para 8 y 10 CC que fueron de 0.64 y 0.78, respectivamente. Estos valores son cercanos a la unidad, lo cual indica un comportamiento pseudoplástico (Bird *et al.*, 1987). Cuando la tasa de corte fue mayor a $10^{2.5} \text{ s}^{-1}$ las curvas de flujo de los dos tratamientos se volvieron asintóticas y se comportaron nuevamente como un fluido newtoniano. Este comportamiento indica dos cosas relevantes; primero que a tasas de corte bajo ($< 10^{-2}$), la única emulsión que presentó un comportamiento no-newtoniano fue la

de 20GA-6CC, esto sugiere que la cera de candelilla en bajas proporciones no muestra un efecto en la alteración de las propiedades reológicas de la goma arábiga. Aún es desconocido lo que ocurre en la reología de la goma arábiga a bajas tasas de corte (Li *et al.*, 2009). Mothè y Rao (1999) sugirieron que el comportamiento de adelgazamiento al corte se debe a la destrucción mecánica de micro agregados a través de la tasa de corte. Otro factor que influye en este comportamiento es quizás la formación de burbujas de aire cuando se tienen soluciones de goma arábiga altas (10-30 %), estas pueden influir en el comportamiento reológico, principalmente a tasas de corte bajo (Tanaka *et al.*, 2006).

Por otro lado, en las emulsiones 20GA-8CC y 20GA-10CC se tiene que la asociación de las moléculas de goma arábiga-cera de candelilla mostró un cambio en la estructuración de las moléculas. Se sabe que las propiedades emulsificantes de la goma arábiga es debida a la fracción de proteínas arabinogalactanas que tienen una estructura altamente ramificada, donde las cadenas de polisacáridos están unidas mediante enlaces covalentes a la estructura principal de proteínas (Randall *et al.*, 1989; Idris *et al.*, 1998; Al-Assaf *et al.*, 2007). Las cadenas hidrofóbicas de proteínas combinadas con los fragmentos hidrofílicos confieren un carácter anfifílico a la molécula de goma arábiga. La porción hidrofóbica se adsorbe fuertemente dentro de la superficie de las gotas de los lípidos, mientras las ramificaciones hidrofílicas limitan la agregación de gotas y la coalescencia por medio de fuerzas electroestáticas estéricas y repulsivas (Dickinson, 2003, 2009; Garty y Leser, 2001

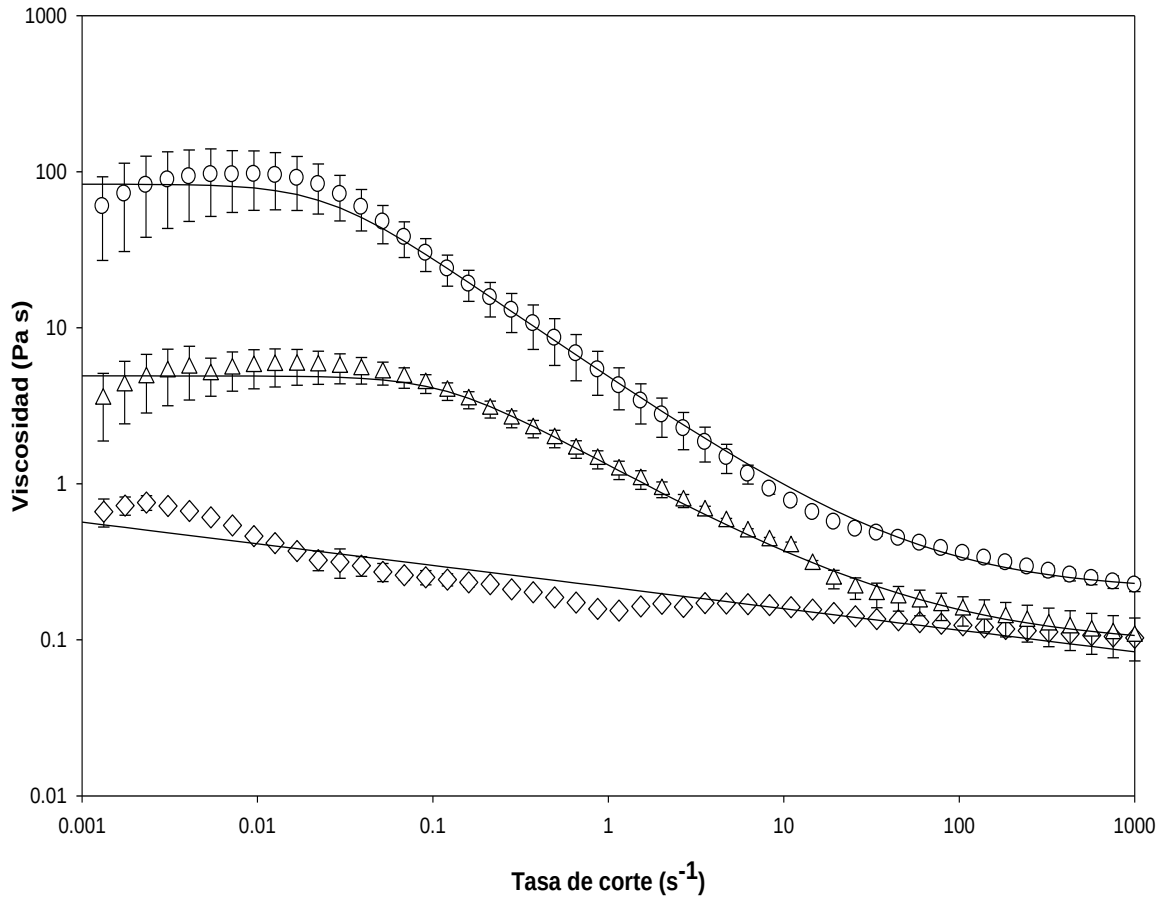


Figura 4. Comportamiento de la viscosidad aparente para emulsiones con 3 niveles de cera de candelilla (6,8 y 10 %). La línea continua indica los valores ajustados de la modelación; ($\diamond$) = 20GA-6CC; (Δ) = 20GA-8CC; ($\circ$) = 20GA-10CC.

Los datos experimentales fueron ajustados a diversos modelos (Carreau, Yasouda-Carreau, Casson, y Cross) que describen el comportamiento de flujo de materiales para determinar las propiedades reológicas que exhibieron las emulsiones evaluadas. El modelo que mejor ajustó los datos experimentales de las diferentes emulsiones fue el modelo de Carreau ($R \geq 0.90$), debido a que describe la viscosidad aparente a diferentes tasas de corte de fluidos pseudoplásticos con viscosidad asintótica a bajas y altas tasas de corte y sin límite de elasticidad (Bosquez *et al.*, 2010). El modelo está descrito por la Ecuación (8).

$$\eta_a = \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{[1 + (\lambda_c \dot{\gamma})^2]^N} \quad (8)$$

Donde:

η_a Viscosidad aparente de la emulsión.

η_∞ Viscosidad infinita de la emulsión (tiene un comportamiento de un fluido Newtoniano).

η_0 Viscosidad de la emulsión a tasa de corte cero (zero shear rate).

λ_c Constante del tiempo que involucra el tiempo de relajación de las emulsiones.

$\dot{\gamma}$ Indica la tasa de corte (shear rate).

N Exponente adimensional que involucra la pendiente de la ley de la potencia y la amplia región de transición de la zona η_0 y la región de la ley de la potencia (adelgazamiento al corte).

El punto esencial de la modelación es demostrar que la formación de agregados de partículas se favorece cuando existen tasas de corte muy bajas mientras que a altas tasas de corte las moléculas tenderán a separarse (Leng y Turgeon, 2007). En el Cuadro 13 se muestra el análisis de varianza de los parámetros arrojados por la modelación de los datos experimentales.

Cuadro 13 Análisis de varianza del los parámetros de la modelación de datos experimentales que describen las características reológicas de las emulsiones de goma arábiga y cera de candelilla.

Fuente	$\eta_0 - \eta_\infty$	η_∞	λ_c	N	η_0
Tratamiento	19957.208	0.058	9.11×10^{19}	0.175	20017.085
Error	2476.57	0.002	9.34×10^{17}	0.001	2473.
F	24.18*	61.33*	292.42*	388.44*	24.28*
r^2	0.889	0.953	0.989	0.992	0.890
CV	52.375	22.624	17.543	5.742	52.213
Media	38.789	0.096	2.24×10^9	0.261	38.886

*Indican significancia estadística ($\alpha=0.05$); $F_{\text{tablas}}=5.14$; CV (%) = Coeficiente de variación; $\eta_0 - \eta_\infty$ = diferencia entre la viscosidad a tasa de corte cero y la viscosidad infinita; η_∞ = viscosidad infinita; λ_c = tiempo de relajación; N =exponente adimensional de la ley de la potencia; η_0 = viscosidad a tasa de corte cero.

De acuerdo a los datos de la modelación se encontró diferencia significativa en la comparación de medias en el parámetro de viscosidad infinita (η_∞) (Cuadro 14). Este valor indicó que aun cuando todas las emulsiones presentaron una tendencia de adelgazamiento al corte. Los niveles de cera influyeron en la η_∞ , de la emulsión: mientras más alto fue el contenido de cera, la viscosidad de las emulsiones se incrementó. Los niveles de cera también influyeron en la viscosidad cero (η_0), debido a que un aumento del contenido de cera hizo que la η_0 se comportara de manera proporcional a estos incrementos. Los valores para 20GA-6CC y 20GA-8CC son cercanos a los reportados por otros autores para mezclas de GA y goma xantana (Desplanques *et al.*, 2012) aunque estas mezclas fueron sin agregar cera. Los valores que se obtuvieron para las emulsiones 20GA-6CC y 20GA-8CC, permiten dilucidar que existe una gran interacción entre las fuerzas intermoleculares de la fase continua y que al menos para estas dos emulsiones el efecto de la cera fue mínimo en la

viscosidad. Li *et al.* (2011) describen que las bajas viscosidades de la GA se deben principalmente a su estructura altamente conectada y a su nivel de compactación. Sin embargo para la emulsión 20GA-10CC se presentó un incremento de más de una unidad logarítmica, que permitieron ver el efecto del contenido de cera en la η_0 .

El parámetro λ_c indica el tiempo (en s) que tardarán en romperse las interacciones moleculares cuando son sometidos a un esfuerzo cortante o el tiempo que tardarán en reestructurarse cuando están en reposo, lo que implica un entrelazado mayor o que una red estructurada se formó. El valor de λ_c para el 20GA-6CC (Cuadro 14) indica que ésta tiene un tiempo elevado para reestructurarse (6.7E9 s), mientras que las otras dos emulsiones no presentaron diferencia estadística, aunque sus valores no son tan cercanos (Cuadro 14).

El exponente adimensional N , que algunos autores describen como $N = m/2$ (Leng y Turgeon, 2007), donde (m) indica la pendiente de la ley de la potencia. Mediante un desglose de los valores del modelado se encontró que la pendiente de las emulsiones fueron de acuerdo a su contenido de cera en orden ascendente 0.12, 0.64, 0.78, estos datos están dentro del intervalo para m ($0 < m < 1$) (Bird *et al.*, 1987; Carreau, 1968), donde $m=0$ indica un fluido newtoniano, pero si el valor es cercano a la unidad entonces el comportamiento será el de un fluido pseudoplástico. Leng y Turgeon (2007) mencionaron que a partir de valores de $m < 0.3$ se puede considerar el comportamiento de un fluido como newtoniano. Los valores que se determinaron en las emulsiones difieren de los mostrados por Bosquez *et al.* (2010) para emulsiones de goma de mezquite y cera de candelilla, pero son muy cercanos a los mostrados por Desplanques *et al.* (2012) en emulsiones de GA y goma xantana. La emulsión que fluye más rápido fue la 20GA-10CC de acuerdo a los datos experimentales y

presentó un comportamiento de adelgazamiento al corte. La 20GA-8CC también mostró una tendencia similar a la 20GA-10C, ambas emulsiones presentan valores de m mayores a 0.3, esto demostró que las dos emulsiones presentaron un comportamiento de adelgazamiento al corte. Finalmente, la 20GA-6CC tendió a comportarse como un fluido newtoniano, debido a que su pendiente fue muy baja y su valor de m fue de 0.12 (< 0.3). En este parámetro el análisis estadístico mostró que existe diferencia significativa entre las tres emulsiones; la emulsión que presentó menor efecto de la tasa de corte fue la de 20GA-6CC.

Cuadro 14. Parámetros reológicos del Modelo de Carreau de las emulsiones y comparación de medias de los parámetros.

TRAT	$\eta_0 - \eta_\infty$ (Pa·s)	η_∞ (Pa·s)	λ_c	N	η_0 (Pa·s)
20GA-6CC	$6.17 \pm 2.67\mathbf{b}$	$0.001 \pm 0.0\mathbf{c}$	$6.74\text{E}9 \pm 6.8\text{E}8\mathbf{a}$	$0.06 \pm 0.0\mathbf{c}$	$6.17 \pm 2.67\mathbf{b}$
20GA-8CC	$4.82 \pm 1.53\mathbf{b}$	$0.09 \pm 0.03\mathbf{b}$	$8.157 \pm 2.26\mathbf{b}$	$0.32 \pm 0.01\mathbf{b}$	$4.91 \pm 1.50\mathbf{b}$
20GA-10CC	$105.38 \pm 35.1\mathbf{a}$	$0.19 \pm 0.02\mathbf{a}$	$43.067 \pm 6.50\mathbf{b}$	$0.39 \pm 0.01\mathbf{a}$	$105.58 \pm 35.08\mathbf{a}$

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $P < 0.05$.

El valor de $1/\lambda_c$ constituye la tasa de corte crítica en la cual la viscosidad comienza a disminuir (Bosquez *et al.*, 2010) y, entre más grande sea este valor, indicará el grado de asociación de las moléculas lo que impide que fluya la emulsión. Los valores obtenidos permiten asegurar que la emulsión 20GA-6CC fue la que fluyó a menores tasas (Cuadro 15), esto debido a que sus interacciones a bajas tasas de corte son muy débiles, sin embargo esta emulsión presenta una reestructuración de sus moléculas a tasas de corte de 0.1 a 1.0 s^{-1} (Figura 4) para finalmente mostrar un comportamiento pseudoplástico a tasas de corte más elevadas. La emulsión que mayor estructuración presentó fue la 20GA-8CC, que presenta un valor de 0.122 s^{-1} , esto implicó que las fuerzas intermoleculares presentan un alto grado de interacción que permiten a la emulsión soportar mayores tasas de corte antes de volver a

fluir; es importante destacar que aunque la emulsión 20GA-10CC fue la que presentó el valor más alto de η_0 también fue la que presentó una baja resistencia a fluir cuando se le aplicó una baja tasa de corte (0.02 s^{-1}).

Cuadro 15. Valores de $1/\lambda_c$, determinados a partir del valor de la media de la modelación (λ_c) de los datos experimentales para emulsiones de GA Y CMC adicionadas con diferentes concentraciones de cera de candelilla.

Formulación	$1/\lambda_c$
20GA-6CC	1.48×10^{-10}
20GA-8CC	0.122
20GA-10CC	0.0232

5.4.2.2 Tamaño de partícula. El análisis de varianza del tamaño de partícula de las tres emulsiones de goma arábica-cera de candelilla caracterizadas se muestran en el Cuadro 16: Se observó alta significancia estadística ($P \leq 0.05$), esto indicó que al menos un tratamiento fue diferente y que los datos se ajustaron al diseño estadístico ($r^2 > 99 \%$)

Cuadro 16 Análisis de varianza del tamaño de partícula de las emulsiones de goma arábica y cera de candelilla.

Fuente	Tamaño de gota ($D_{3,2}$)
Tratamiento	2.422
Error	0.001
F	4542.17*
r^2	0.999
CV	1.008
Media	1.618

*Indican significancia estadística ($\alpha=0.05$); $F_{\text{tablas}}=5.14$; CV (%) = Coeficiente de variación.

El intervalo del tamaño de partícula de las emulsiones varió de 1.03 a 2.29 μm (Cuadro 17), el análisis de estadístico mostró diferencia significativa entre todas las emulsiones. Estos valores son cercanos a los determinados por Bosquez *et al.* (2003), que encontró valores entre 1.67 y 2.55 μm en emulsiones de goma de mezquite y combinaciones de tres compuestos lipídicos (cera de candelilla, aceite mineral y ácido oleico). El aumento del tamaño de partícula estuvo relacionado con los contenidos de cera que se agregaron a cada emulsión (Cuadro 16). Al respecto, Bosquez *et al.* (2003) menciona que la CC es muy dura y poco maleable. Sin embargo, cuando se adiciona a emulsiones de goma de mezquite en mezcla con cera de abeja y ácido oleico mejora sus propiedades y se vuelve maleable. Chiumarelli y Hubinger (2012) mencionan que un tamaño de partícula pequeño provoca una mayor estabilidad en las películas comestibles lo cual puede influenciar fuertemente en las propiedades de barrera y de intercambio gaseoso de las películas.

El comportamiento de los datos y el análisis de comparación de medias permiten asegurar que a medida que el contenido de cera se incrementa, el tamaño de partícula de las emulsiones también aumentó (Cuadro 16). La cera es un compuesto con un alto número de hidrocarburos (Saucedo *et al.*, 2009), y se debe a este factor, el comportamiento encontrado en el presente estudio.

Cuadro 17 Comparación de medias para el tamaño de partícula ($D_{3,2} \pm \text{DS}$) de emulsiones de goma arábiga y diferentes concentraciones de cera de candelilla.

Formulación	$D_{3,2} (\mu\text{m}) \pm \text{DS}$
20GA-6CC	$1.0366 \pm 0.015\text{c}$
20GA-8CC	$1.5233 \pm 0.011\text{b}$
20GA-10CC	$2.2966 \pm 0.020\text{a}$

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $P < 0.05$.

5.4.3 Propiedades físicas y mecánicas de las películas comestibles

En el cuadro 18 se presenta el Análisis de Varianza de las propiedades físicas y mecánicas de los recubrimientos comestibles. Se puede observar que las características de las películas formadas a partir de las emulsiones de goma arábiga y cera de candelilla fueron estadísticamente significativos (Cuadro 18), esto indicó que al agregar un componente lipídico a emulsiones de goma arábiga, las propiedades mecánicas y físicas de éstas fueron afectadas.

Cuadro 18. Análisis de varianza de los parámetros que describen las propiedades mecánicas y físicas de películas formadas a partir de emulsiones de goma arábiga y diferentes concentraciones de cera de candelilla.

Fuente	Grosor	L	Hue	Chroma	Fuerza en Tensión	% de Elongación	PVA
Trat.	0.023	35.819	28.857	106.710	1.432	1538.251	5.80×10^{-23}
Error	0.003	10.551	4.152	23.858	0.185	299.274	2.833×10^{-23}
F	42.94*	20.37*	41.69*	26.84*	46.40*	30.84*	6.15*
r ²	0.877	0.772	0.874	0.817	0.885	0.837	0.671
CV	5.71	1.12	0.620	8.338	13.435	12.899	17.34
Media	0.029	83.06	94.756	16.909	0.9247	38.713	1.253×10^{-11}

*Indican significancia estadística ($\alpha=0.05$); $F_{\text{tablas}}=3.89$; CV (%) = Coeficiente de variación; Trat = tratamiento; PVA = permeabilidad a vapor de agua.

5.4.3.1 Permeabilidad a vapor de agua (PVA). Los valores de la PVA se muestran en el Cuadro 19, donde se puede observar que las películas de 20GA-6CC y 20GA-8CC no presentaron diferencia estadística significativa, lo que indica que al menos para esta variable el contenido de cera no tuvo un efecto significativo, pero para la película 20GA-10CC sí presentó una diferencia significativa en su permeabilidad. Estos valores fueron inferiores a los mostrados por Bosquez, *et al.* (2003, 2010) que determinaron valores entre 60.2×10^{-11} y

$101.2 \times 10^{-11} \text{ g} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en películas comestibles de goma de mezquite, cera de candelilla y aceite mineral. Lo que indica que los recubrimientos de GA-CC presentaron una menor permeabilidad a vapor de agua. Permeabilidades similares a las encontradas en el presente trabajo fueron determinadas por Cissé *et al.* (2012) en películas comestibles de quitosano y glicerol con valores que fueron desde 6.8×10^{-12} hasta $14.2 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

5.4.3.2 Color. Se compone por tres parámetros que son la luminosidad (L), el ángulo de matiz o Hue (H*) y la cromaticidad (C*). Los datos de las determinaciones del color indican que existió una relación directa entre el contenido de cera y la diferencia mostrada en cada uno de los parámetros. De esta manera se tiene que para la L existió diferencia significativa entre la películas de 6 % respecto al de 8 y 10 % de CC (Cuadro 19), esto indica que a mayor contenido de cera la luminosidad disminuyó de manera proporcional. Los contenidos de cera también tienen relación directa con ángulo de tono, pues presentó un comportamiento similar a la L, al presentarse un ángulo de matiz mayor en la película de 20GA-6CC (96.70), mientras que los valores de Hue para 20GA-8CC Y 20GA-10CC fueron muy similares estadísticamente (Cuadro 19). De igual manera, los valores de cromaticidad mostraron una tendencia opuesta, es decir a medida que el contenido de cera aumento, la saturación lo hizo de manera proporcional, aunque el único valor diferente fue el recubrimiento que tenía el menor contenido de cera, su valor de cromaticidad fue de 13.37 y en las películas de 8 y 10 % de cera no se observó diferencia estadística. La tendencia de los datos de cromaticidad fue que entre más cera tuviera la película un color café se acentuaba en la película.

La cromaticidad y el Hue nos indican la saturación del color y el ángulo de tono, respectivamente, de las películas. La representación gráfica de estos valores se muestra en la

Figura 5, donde se puede observar que las tres películas se situaron en el segundo cuadrante, por lo que existe una tendencia hacia el color amarillo pero debido a la baja saturación del color y la alta luminosidad (> 80) no es tan perceptible la distinción de un tono en las películas evaluadas.

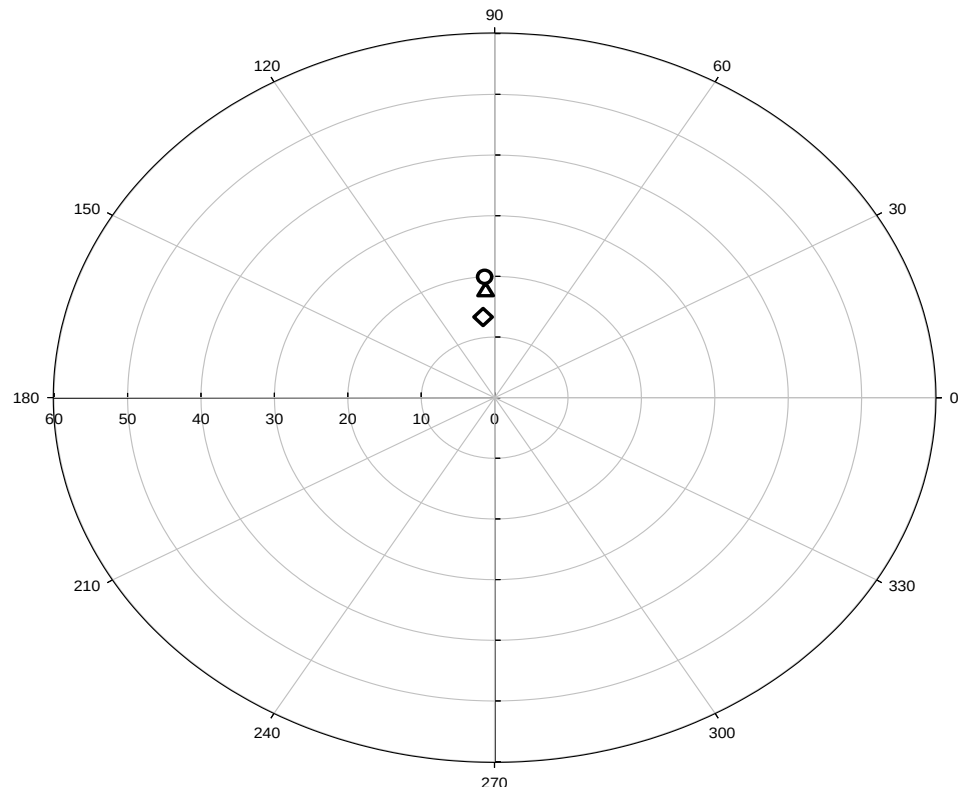


Figura 5. Comportamiento gráfico del ángulo de tono y cromaticidad de recubrimientos con 3 niveles de CC (6,8 y 10 %); ($\triangle$) = 20GA-6CC; (Δ) = 20GA-8CC; ($\circ$) = 20GA-10CC.

5.4.3.3 Espesor de las películas. El parámetro de espesor tuvo una relación directa con el contenido de cera y entre mayor fue la cantidad de este componente lipídico, mayor fue el grosor de la película (Cuadro 19). Esta dependencia es coherente debido en parte a que la estructuración de los recubrimientos está ligado al tamaño de partícula y ésta a su vez a los contenidos de su fase dispersa. Sebti *et al.* (2007) mencionan que el grosor de una película comestible está en función de composición y naturaleza de los biopolímeros que la componen. El grosor de películas comestibles se incrementa especialmente con la

incorporación de moléculas hidrofóbicas (Ghamsemlou *et al.*, 2011; Phan *et al.*, 2009). De esta manera, la cantidad de cera agregada a las películas comestibles influyó en el grosor final de las películas y esto se relaciona con la diferencia estadística significativa que mostraron las tres películas (Cuadro 18).

5.4.3.4 Fuerza en Tensión. Cuando se agrega algún compuesto lipídico a matrices hidrocoloidales, el efecto que tiene en general es una disminución de la fuerza en tensión (Bonilla *et al.*, 2012). Este efecto pudiera ser atribuido a la heterogeneidad introducida en la estructura de la película y el efecto negativo sobre la fuerza de cohesión de la matriz hidrofílica por la incorporación de compuestos lipídicos (Pérez y Krochta, 2001; Peterson y Stading, 2005). La fuerza en tensión de los recubrimientos varió de 0.54 a 1.2 MPa (Cuadro 18). Aunque estos datos son relativamente bajos comparados con películas de quitosano que tiene valores de fuerza en tensión de 13.4 MPa (Valenzuela *et al.*, 2013). Pero se acercan a las determinaciones que realizaron Chiumarelli y Hubinger (2012) en recubrimientos basados en almidón de yuca y cera carnauba con valores que fluctuaron de 0.38 a 2.13 MPa. El valor de tensión para el recubrimiento con 6 % de CC fue el que mayor fuerza en tensión presentó (1.23 MPa) y esto se debe principalmente a dos razones: la primera es el grosor del recubrimiento y el segundo es la estructuración de la emulsión. De acuerdo a los valores de la curva de flujo se puede observar que su estructuración está dada por las fuerzas intermoleculares de la fase continua, lo que permite al recubrimiento poder soportar mayores esfuerzos de tensión al no verse afectado por el contenido de cera. Kester y Fennema (1986) mencionan que los recubrimientos comestibles que contienen ceras se vuelven bastante quebradizas debido a las propiedades inherentes de éstas como son su fragilidad debida en parte a su alto punto de fusión.

El valor de fuerza en tensión para la película con 8 % de CC indica que se vuelve sumamente frágil a esfuerzos de tensión relativamente bajos (Cuadro 19), esto es coherente con lo mencionado al inicio de este apartado. Sin embargo, los valores mostrados por la recubrimiento que contenía 10 % de CC nos permite observar que aún con un contenido alto de CC da valores de tensión fueron elevados y mayores que las películas con 8 % de CC (Cuadro 19), esto puede ser atribuido a la estructuración de la cera que hace que las películas sean muy duras, pero frágiles, estos resultados contrasta con lo mostrado por Chiumarelli y Hubinger (2012) en películas de almidón de yuca-cera carnauba, Sánchez *et al.* (2009) en películas de hidroxipropilmetilcelulosa y aceite esencial de té. La prueba de comparación de medias mostró diferencia estadística entre las tres películas evaluadas ($P < 0.05$).

5.4.3.5 Porcentaje de elongación. Los valores de elongación disminuyeron en forma proporcional al aumento en el contenido de cera agregado, aunque sólo no se encontró diferencia estadística significativa entre las películas de 6 y 8 % de CC, que mostraron valores similares (Cuadro 19). Pero, éstas si fueron mostraron significancia estadística ($P < 0.05$) al compararse con la película que contenía la mayor concentración de cera (10 %). Pereda *et al.* (2012) reportaron que la adición de lípidos a películas comestibles puede mejorar las propiedades de elongación de películas de quitosano- aceite de oliva. Sin embargo, varios estudios muestran que una alta concentración de compuestos lípidicos en una película comestible provoca una disminución en el porcentaje de elasticidad (E%) (Han *et al.*, 2006; Tapia *et al.*, 2007; Jiménez *et al.*, 2010).

Cuadro 19. Efecto de la adición de diferentes concentraciones de cera de candelilla sobre las propiedades mecánicas de recubrimientos comestibles a base de GA y CC.

Variable	Tratamiento		
	20GA-6CC	20GA-8CC	20GA-10CC
Grosor (mm)	0.23 ± 0.01 c	0.29 ± 0.01 b	0.33 ± 0.01 a
L	85.16 ± 1.06 a	82.52 ± 0.69 b	81.49 ± 1.01 b
Ángulo de matiz	96.70 ± 0.04 a	93.97 ± 0.32 b	93.71 ± 0.46 b
Cromaticidad	13.37 ± 1.91 b	17.53 ± 0.89 a	19.81 ± 1.22 a
Fuerza en Tensión (MPa)	1.29 ± 0.18 a	0.54 ± 0.04 c	0.93 ± 0.10 c
Elongación	45.97 ± 3.69 a	45.77 ± 3.69 a	24.39 ± 6.84 b
PVA (g·m·Pa ⁻¹ ·s ⁻¹)(x10 ⁻¹²)	14.28 ± 3.15 a	14.36 ± 1.56 a	8.10 ± 1.28 b

Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa $P < 0.05$ (Prueba de Tukey, DHS); PVA = permeabilidad a vapor de agua.

5.5 Conclusiones

Se caracterizaron las propiedades viscoelásticas de emulsiones de goma arábica y cera de candelilla. Se encontró que a bajos niveles de cera de candelilla; las emulsiones tienden a presentar un comportamiento cercano al newtoniano, pero al aumentar la concentración de cera estas mostraron características de un fluido pseudoplástico. La viscosidad aparente se incrementó desde valores de 4.82 y 6.17 Pa·s en las emulsiones con bajos contenidos de cera, hasta 105.38 Pa·s en la emulsión con mayor contenido de cera. El contenido de cera afectó de manera proporcional el tamaño de partícula en las emulsiones. Para las propiedades físicas se encontró que la cera influyó en la permeabilidad a vapor de agua; a medida que se aumentó la concentración de la cera en la película comestible, la permeabilidad fue menor. El grosor de las películas aumento de proporcionalmente a los contenidos de cera y mostró significancia estadística

($P \leq 0.05$) en todas las películas. Dentro de los parámetros de color se determinó que la cantidad de cera afectó de manera inversamente proporcional a la luminosidad y el ángulo de matiz, mientras que la cromaticidad fue afectada de manera directamente proporcional. Las propiedades mecánicas mostraron valores anormales para la fuerza en tensión, pues mostró valores altos en la película con 10 % de cera. Por otra parte, la elongación disminuyó de acuerdo al contenido de cera agregado.

**6. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE RECUBRIMIENTOS DE GOMA
ARÁBIGA Y CERA DE CANDELILLA EN LA MADURACIÓN DE
FRUTOS DE ZAPOTE MAMEY**

Resumen

En frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) cosechados en madurez fisiológica en Coatlán del Río, Morelos, se evaluó el efecto de tres recubrimientos comestibles a base de goma arábica y diferentes niveles de cera de candelilla sobre la vida útil poscosecha. Se estudió el comportamiento de la maduración durante el almacenamiento en refrigeración (12 °C). Después de 5, 10, 15, 20 y 25 d de tratamiento se realizaron las evaluaciones de la maduración y 6 d después para evaluar su comportamiento en condiciones de mercadeo (22 °C). Todos los frutos presentaron un patrón climatérico con velocidades de respiración máximas entre 167 y 187 mL kg⁻¹ h⁻¹, mientras que la producción de etileno fue inhibida en los frutos recubiertos con 6 y 8 % de CC (($P \leq 0.05$). Se encontró que los frutos recubiertos mostraron una menor pérdida de peso (30- 50 % más baja) respecto al testigo (frutos sin recubrimiento). Los °Brix y el pH se incrementaron en forma significativa ($P \leq 0.05$) desde 9 hasta 24 °Brix y de 5.77 a 7 en pH. La acidez y los atributos del color no mostraron cambios significativos durante la maduración entre los factores tipo de recubrimiento y días de almacenamiento.

Palabras clave: *Pouteria sapota*, goma arábica, cera de candelilla, madurez fisiológica, almacenamiento, recubrimientos comestibles

6.1 Introducción

El zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) es una especie que crece de manera silvestre en climas tropicales. Produce un fruto cuyo peso varía de 250 a 2500 g (Alia *et al.*, 2007; Ergun *et al.*, 2005), en función de las características genéticas del árbol, de las condiciones climáticas y de las condiciones del suelo. El fruto del zapote mamey es una fruta exótica y por sus características organolépticas y nutricionales se consume en fresco en el mercado nacional (Saucedo *et al.*, 2001), y es debido a estas características que su demanda ha aumentado en países como Australia, Israel, Vietnam, España y EUA. En México, la producción de mamey es de alrededor de 16,000 t, ésta se concentra en los estados de Yucatán y Guerrero (SIACON, 2012).

La maduración del zapote mamey se da entre 6 y 8 d a 20 °C y en 4 d a 25 °C (Alia *et al.*, 2007). Las frutas de origen tropical son sensibles a las bajas temperaturas, pues pueden experimentar daños por frío (Pérez *et al.*, 1999; Alia *et al.*, 2000, 2002). La temperatura de almacenamiento más baja sugerida es de 12 °C (Alia *et al.*, 2000). Se ha probado que el uso de atmósferas controladas en combinación con la refrigeración puede mantener los frutos en una calidad adecuada por más de 21 días (Manzano *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2004, 2008)

Por otro lado, las atmósferas modificadas se definen como la alteración en la composición de los gases dentro y alrededor del fruto, debido a la interacción de la respiración y el proceso de permeación que ocurre a través de las paredes del plástico que se usa como envase (Thompson, 2003). En el contexto de las atmósferas modificadas se tienen dos vertientes: el uso de películas plásticas y el uso de recubrimientos comestibles. Se han probado películas plásticas para la conservación de zapote mamey (Ramos *et al.*, 2009; Pachuqueño *et al.*,

2010), sin embargo, esto implica el uso de productos derivados del petróleo que tienen un fuerte impacto en el ambiente debido a su poca biodegradabilidad. Actualmente, existe poca información en el uso de recubrimientos comestibles para la generación de atmósferas modificadas (Ergun *et al.*, 2005) en la conservación postcosecha de frutos de zapote mamey.

En la aplicación de recubrimientos comestibles debe controlarse la barrera a O₂ y CO₂, y adecuar el balance hidrofílico-lipofílico (BHL) que determina la adherencia y la barrera a vapor de agua. En la actualidad, el enfoque en el diseño de un recubrimiento comestible está centrado en el uso combinado de compuestos hidrofílicos e hidrofóbicos para mejorar las propiedades de barrera de los recubrimientos (Velickova *et al.*, 2013).

En virtud de que el fruto de zapote mamey carece de cutícula, se cree que la aplicación de un recubrimiento comestible podría reducir el intercambio de gaseoso y con ello crear, a nivel de atmósfera interna, un ambiente de atmósfera modificada que podría ser beneficioso en el alargamiento de la vida útil, además de que representaría una estrategia sencilla de aplicar y representa una técnica más económica y fácil de implementar en comparación de las atmósferas controladas que requieren de una infraestructura sofisticada para su aplicación. De esta manera, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto combinado de recubrimientos comestibles a base de goma arábiga y cera de candelilla, previamente caracterizados, y bajas temperaturas (12 °C) sobre la maduración de frutos de zapote mamey, al considerar que la combinación de bajas temperaturas y recubrimientos comestibles pueden mantener los parámetros de calidad e incrementar su vida postcosecha.

6.2 Materiales y métodos

6.2.1 Material vegetal y caracterización inicial

Se utilizaron frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) cosechados en la región de Coatlán del Río, Morelos, México, que se localiza entre las coordenadas geográficas 18°45'05" de latitud norte y 99°26'8" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 1,010 metros sobre el nivel del mar, en madurez fisiológica, fueron cosechados a una temperatura de campo de 32 °C, para posteriormente acondicionarse por 1 día a 20 °C. Se utilizó el índice de cosecha del productor que consiste en raspar la cáscara en un lugar cercano al ápice y observar la coloración de la pulpa, que debe ser de tonalidad salmón-rojizo. Inmediatamente después del corte se tomó una muestra de 15 frutos para realizarles evaluaciones de peso, tasa respiratoria, firmeza de pulpa, color de pulpa, contenido de metabolitos anaerobios, sólidos solubles totales (°Brix) y acidez titulable. El desarrollo del experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Atmósferas Modificadas y Controladas del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

6.2.2 Formulación y aplicación de los recubrimientos comestibles a los frutos de zapote mamey

Las emulsiones para la elaboración de los recubrimientos se prepararon de acuerdo a lo descrito en el apartado 5.2.2.2 del presente documento. Las emulsiones se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 12 horas antes de aplicarse a los frutos. Las emulsiones fueron

aplicadas a los frutos mediante cepillado. Se siguió la metodología de Ergun *et al.* (2005), que consiste en realizar un cepillado ligero en la cáscara de los frutos para remover el exceso de fibra “tierrilla”, (que es una práctica postcosecha que se realiza comúnmente). Las emulsiones se colocaron en vasos de polipropileno del No. 0, y se pesaron de forma individual con la ayuda de una balanza digital (Ohaus Corporation, modelo: Scout Pro SP2001, Pine Brook, NJ, EUA), después de aplicarse la emulsión al fruto, el vaso se volvió a pesar y por diferencia se obtuvo la cantidad de emulsión aplicada a cada fruto. Se aplicó una capa uniforme ligera de emulsión (3.74 ± 0.6 g) mediante cepillado a cada fruto de manera manual a temperatura ambiente ($21\text{ }^{\circ}\text{C}$) y aire seco. Finalmente, se aplicó aire seco a los frutos para formar los recubrimientos y se dejó reposar la emulsión durante 12 horas para permitir un secado completo.

6.2.3 Planeación experimental

Se formaron 4 tratamientos de 65 frutos: 20GA-6CC, 20GA-8CC, 20GA-10CC y sin recubrimiento (testigo). Después se colocaron los frutos de todos los tratamiento en una cámara de refrigeración a $12.79 \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $90.7 \pm 4.3\%$ HR. Cada 5, 10, 15, 20 y 25 d de tratamiento se realizó dos tipos de evaluaciones. De cada tratamiento se separó un lote de 10 frutos que se dividió en dos partes: 5 frutos fueron para las variables no destructivas (pérdida de peso, respiración, y producción de etileno) que fueron evaluadas durante 6 d a temperatura ambiente ($21 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 60 % de HR) después del traslado de las condiciones de almacenamiento bajo refrigeración. Los otros cinco frutos fueron destinados a las variables destructivas (evaluaciones fisicoquímicas y metabolitos anaerobios) que se realizaron al momento del cambio de las condiciones de temperatura. Finalmente, posterior a los 6 d de

maduración a temperatura ambiente, en los frutos madurados se realizaron nuevamente las pruebas destructivas para conocer el estado de la maduración y los cambios fisiológicos.

6.2.4 Variables fisiológicas

6.2.4.1 Pérdida de peso. El peso de los frutos se midió con una balanza digital (Ohaus Corporation, modelo: Scout Pro SP2001, Pine Brook, NJ, EUA). Se obtuvieron los porcentajes de pérdida de peso diariamente bajo condiciones de refrigeración a (12 °C) y a temperatura ambiente (20 °C) con la Ecuación (9)

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100 \quad (9)$$

6.2.4.2 Determinación de la velocidad de respiración. Las tasas diarias de respiración y producción de etileno se evaluaron mediante el método estático (Mendoza y Báez, 2000); cada fruto se colocó en recipientes herméticos de 1.8 L por 1 h. Al término de este periodo se tomaron muestras de 7 mL del contenido gaseoso del espacio de cabeza del recipiente y se colocaron en tubos Vacutainer[®] (Becton, Dickinson & Co. Franklin Lakes, NJ, USA), se determinó el cambio de concentración de CO₂ y etileno con un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies, modelo:7890A [G3440 A], Santa Clara, CA, EUA), equipado con un detector de ionización de flama (FID) y un detector de conductividad térmica (TCD), que opera a temperaturas de 80, 150 y 170 °C en la columna, inyector y detectores, respectivamente; como gas de arrastre se utilizó nitrógeno. Todas las muestras se inyectaron con jeringas de vidrio para gases (Hamilton Company, Reno, NV, USA) en alícuotas de 100 µL. Se registró el volumen libre y la masa de cada fruto; para la determinación de la tasa

respiratoria (g_{CO_2}) se utilizó el método de Claypool y Keefer (1942) modificado por Valle (1995), que se analizó con la Ecuación (10):

$$g_{CO_2} = \frac{(y_{CO_2}^f - y_{CO_2}^i) V_L}{m t_r} \quad (10)$$

Donde:

- $y_{CO_2}^f$ Concentración final en fracción volumen de CO_2 .
- $y_{CO_2}^i$ Concentración inicial en fracción volumen de CO_2 (se acepta que este valor es de 0.003%)
- V_L Volumen libre del recipiente (mL)
- m Masa del producto (kg)
- t_r Tiempo de evaluación en horas

6.2.4.3 Determinación de metabolitos anaerobios. Los metabolitos anaerobios (alcohol y acetaldehído) se determinaron mediante cromatografía de gases. Se siguió el método de Davis y Chace (1969); se picaron finamente 5 g de pulpa de tejido de cada fruto y se colocaron en viales de vidrio sellados con tapa de goma y aluminio y después se almacenaron a -20 °C, hasta su evaluación. Cada vial se incubó por 15 minutos en baño maría a 30 °C. Posteriormente se tomó 1 mL del espacio de cabeza y se inyectó en el cromatógrafo de gases (Bruker Co. Marca: Varian, modelo 3400 CX, Fremont, CA, EUA) que está equipado con un FID y las temperaturas a las que opera son 150, 170y 180 °C en la columna, inyector y detector respectivamente.

6.2.5 Variables fisicoquímicas

Para la determinación de las variables de °Brix, pH y acidez titulable se tomaron 10 g de pulpa de un fruto y se licuaron con 100 mL de agua destilada, después al extracto se le filtró con manta de cielo.

6.2.5.1 Sólidos solubles totales. Se cuantificó el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) con un refractómetro portátil (Atago Co. Ltd., modelo: 211-W10 (N-1E), Tokio, Japón), con escala 0-32 °Brix. Se colocó una gota del filtrado de la muestra y se tomó la lectura del índice de refracción de los sólidos solubles totales. Los resultados se expresaron en °Brix (Sauri, 2007).

6.2.5.2 Acidez titulable. Se tomó una alícuota de 25 mL del extracto filtrado y se colocó en un vaso de precipitado con agitación constante y se procedió con el método de titulación con NaOH 0.01 N hasta que se alcanzó un pH de 8.2, que fue medido con la ayuda de un electrodo. (Díaz *et al.*, 2000; Horwitz, 1980) con la Ecuación (11) se obtuvo el % de acidez. Los valores obtenidos se expresaron como contenido de ácido málico, pues es el ácido orgánico predominante en el fruto de zapote mamey (Arenas *et al.*, 2003).

$$\% \text{ Acidez} = \frac{\text{mL de NaOH} \times N \times D \times \text{Meq}_{\text{Ácido málico}}}{\text{mL de muestra}} \times 100 \quad (11)$$

Donde:

mL de NaOH	Es el gasto de hidróxido de sodio.
N	Es la normalidad de la solución de NaOH.
D	Es el valor de la dilución.

M_{eq} Es el miliequivalente químico del ácido málico.

6.2.5.3 pH. Se determinó en el extracto filtrado, para lo cual se utilizó un potenciómetro portátil (Hanna Instruments, modelo HI 8420, Padua, Italia).

6.2.5.4 Color. Se determinó el cambio del color en la pulpa con un colorímetro (Hunter Associates Laboratory, Inc., modelo: MiniScanTM XE Plus, Reston, VA, EUA), en escala CieLab, con iluminación estándar D65 y ángulo de observador de 10°. Se registraron los valores L, a, b. La luminosidad fue el valor de L, el ángulo de matiz (H^*) y la cromaticidad (C) se calcularon de la forma descrita por McGuire (1992) con las Ecuaciones 12 y 13 respectivamente.

$$H^* = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (12)$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (13)$$

6.2.5.5 Firmeza. Se determinó en la pulpa del fruto; para ello se removió una parte de la cáscara en la zona ecuatorial y con un equipo analizador de textura universal (Stable Micro Systems, modelo: TA-XT2i, Surrey, RU) provisto de un accesorio esférico. Se realizó una rutina de medición de fuerza en compresión, con una distancia de penetración de 5.0 mm y con velocidad de preensayo, ensayo y postensayo de 4.0, 1.0, 5.0 mm s⁻¹, respectivamente y una celda de carga de 5 kg. Los valores se reportaron en newtons (N).

6.3 Análisis estadístico

El experimento se condujo como un arreglo factorial 4 x 5 alojado en un diseño completamente al azar. Uno de los factores fue el tipo de recubrimiento utilizado con cuatro niveles: testigo (frutos sin recubrimiento), 20GA-6CC, 20GA-8CC Y 20GA-10CC. El otro factor fue el tiempo de exposición a temperatura de refrigeración de 12 °C con cinco niveles: 5, 10, 15, 20 y 25 d, contados a partir del segundo día posterior a la cosecha. La unidad experimental fue un fruto con cinco repeticiones para las variables de velocidad de respiración, producción de etileno, sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable, pH y color. Para las variables respuesta, firmeza en pulpa y metabolitos anaerobios (etanol y acetaldehído) la unidad experimental consistió de un fruto con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza y pruebas de contraste de medias con el estadístico de Tukey (0.05). Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS versión 9.02 (SAS Institute, Cary, NC, EUA, 2010).

6.4 Resultados y discusión

6.4.1 Caracterización inicial

Los frutos fueron cosechados de manera manual; para conocer la madurez fisiológica de la fruta se utilizó el índice de los productores, que consiste en retirar una porción de la cáscara del ápice del fruto para observar una coloración naranja en la pulpa. Este índice, aunque sea muy subjetivo, es el que se utiliza de manera comercial para identificar la madurez y aún no se consolida uno mejor. Los frutos se colocaron en cajas de plástico de 10 kg, para lo cual, se

colocó papel periódico para evitar daño mecánico por fricción entre frutos, y así inmediatamente trasladados al Laboratorio de Atmósferas Controladas y Modificadas del Departamento de Ingeniería Agroindustrial y se acondicionaron a temperatura de cuarto (20 °C) durante un día.

La caracterización inicial que se realizó al momento de la cosecha, se determinó en 15 frutos para conocer el estado fisiológico en el que se encontraban los frutos de zapote mamey de la región de Coatlán del Río, Morelos, México. Estos fueron: peso de 275.45 ± 9.68 g, y firmeza del fruto en pulpa de 60.24 ± 0.03 N. Los parámetros de color fueron: luminosidad de 67.31 ± 0.88 , ángulo de matiz de 54.25 ± 1.49 , cromaticidad de 49.25 ± 0.51 , mientras que los parámetros fisicoquímicos fueron los siguientes: SST de 8.2 ± 0.40 °Brix, pH de 6.09 ± 0.02 , acidez titulable de 0.127 ± 0.005 %. La tasa respiratoria fue de 30.06 ± 6.86 mL kg⁻¹ h⁻¹, la producción de etileno fue de 236.82 ± 10.94 µL kg⁻¹ h⁻¹ y los valores de los metabolitos anaerobios fueron de 0.023 ± 0.003 mg kg⁻¹ para acetaldehído y de 21.48 ± 6.74 mg kg⁻¹ para etanol

Los valores de color difirieron de los mostrados por Gaona *et al.* (2008) que para frutos de la región, determinaron valores de 48.8, 68.7 y 37.7 para luminosidad, ángulo de matiz y cromaticidad, respectivamente, pero son muy similares a los mostrados por Ramos *et al.* (2009) lo que sugiere que aun cuando un fruto proceda de una misma región puede presentar una amplia variabilidad de color, que va desde los tonos amarillo-naranja hasta tonalidades rojo-naranja (Villanueva *et al.*, 2000).

Los valores de los SST concordaron con los mostrados por Álvarez *et al.* (2012) en frutos de la misma región, aunque está demostrado que los SST pueden diferir de una zona productora a otra, y aún dentro de la misma zona (Gaona *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2008).

6.4.2 Variables fisiológicas

6.4.2.1 Pérdida de peso. El Cuadro 20 muestra el ANOVA de la variable fisiológica de pérdida de peso, en el cual se observa que los factores que tuvieron mayor influencia fueron los tratamientos aplicados y principalmente los días de maduración. Lo cual indica que para la pérdida de peso de los frutos de zapote mamey, la aplicación de los recubrimientos tuvieron un efecto positivo al reducirla en comparación con los frutos no recubiertos (testigo).

Cuadro 20. Análisis de varianza de la variable fisiológica pérdida de peso de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábiga y cera de candelilla y mantenidos bajo condiciones de refrigeración y después madurados durante 6 d a temperatura ambiente.

Fuente	Pérdida de peso				
[¶] DDAR	5	10	15	20	25
Tratamiento	563.789	649.591	391.036	469.314	354.018
Error	14.490	12.935	13.826	15.052	8.593
Valor F para tipo de recubrimiento	80.51*	283.56*	52.67*	83.17*	127.18*
Valor F para días	683.89*	772.00*	505.39*	530.49*	700.22*
Valor F para la interacción	4.93*	7.35*	2.00	6.07*	4.81*
r ²	0.974	0.980	0.965	0.968	0.976
CV	8.716	7.98	9.602	10.744	8.583
Media	4.457	4.59	3.952	3.684	3.485

[¶]DDAR = Días de almacenamiento de los frutos con recubrimiento bajo condiciones de refrigeración;

*Indican significancia estadística ($P \leq 0.05$); $F_{\text{tablas}}=2.71$; CV (%) = Coeficiente de variación.

Al tener el fruto de zapote mamey una alta tasa respiratoria (Kader, 2003), la pérdida de peso es bastante alta y llega a ser desde 1.5 hasta el 14 % de su peso (Alia *et al.*, 2002; Domínguez *et al.*, 2010). La pérdida de peso en frutos se atribuye principalmente a la transpiración, que provoca pérdida de humedad, la cual es originada por el déficit de presión de vapor existente en el lugar donde se almacena el fruto, además de aspectos como la proporción superficie/volumen del fruto, temperatura, estructura de la cutícula o grado de suberización, especie o variedad (Díaz *et al.*, 2000; Valero y Serrano, 2010; Yaman y Bayoindirli, 2002).

La pérdida de peso en el zapote mamey presentó diferencia estadística, pues los frutos recubiertos presentaron una pérdida mucho menor en comparación al testigo (Figura 6). En general, el porcentaje de pérdida de peso del testigo se ubicó entre 7.4 y 9.3 % después de 6 d de maduración a temperatura ambiente. Los porcentajes de pérdida de peso para el testigo (sin recubrimiento) son cercanas a los mostrados por Ramos *et al.* (2009) que mostraron una pérdida de peso de 1.9 % diariamente

El uso de recubrimientos tuvo un efecto positivo al disminuir la pérdida de peso a valores entre 4.7 a 6.7 % después del tiempo de maduración (Figura 6). Además, se observó que la pérdida de peso fue menor a los 10 d de refrigeración + 6 d de maduración a temperatura ambiente en los frutos recubiertos con el tratamiento de 20GA-6CC. Pero en los demás días de tratamiento se presentó que entre los frutos recubiertos no existió diferencia entre ellos, pero si fueron diferentes respecto al testigo (Figura 6). Ali *et al.* (2010) reportó pérdidas de peso entre 5 y 6 % en frutos de jitomate recubiertos con formulaciones de GA en diferentes concentraciones y almacenados a 20 °C. Saucedo *et al.* (2009) demostraron que la pérdida de peso en frutos de aguacate puede disminuir drásticamente con el uso de recubrimientos de

cera de candelilla, pero se encontraron problemas en la apariencia de la pulpa después del almacenamiento en condiciones de refrigeración.

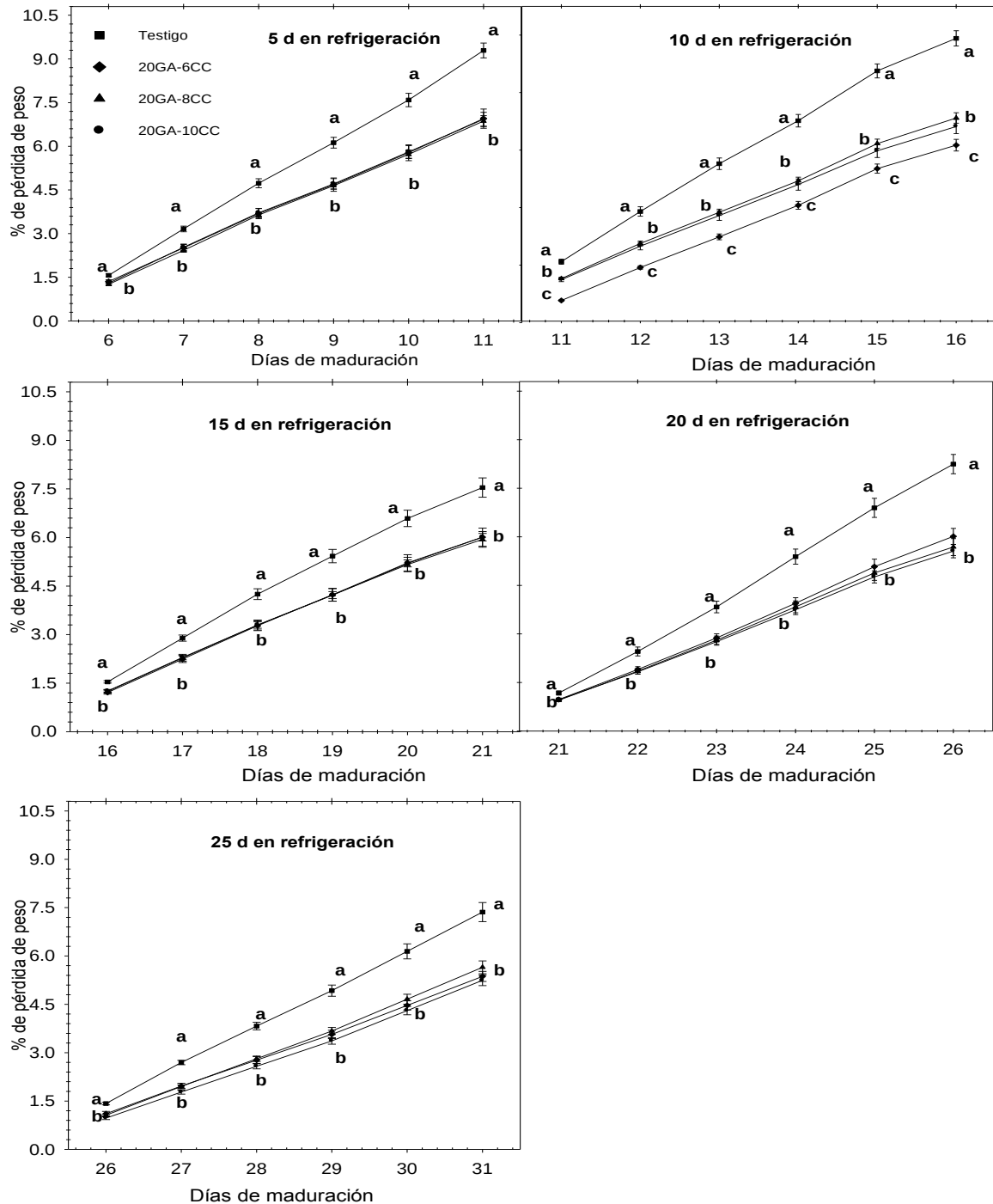


Figura 6. Pérdida de peso acumulado (%) en frutos de zapote mamey después de almacenamiento a 12.79 ± 0.5 °C y 90.7 ± 4.3 % HR y madurados durante 6 d bajo condiciones ambientales (22.04 ± 1.60 °C y 59 ± 4.73 %), Cada punto representa la media de cinco observaciones $\pm$ error estándar. Letras iguales indican diferencia no significancia (Tukey, 0.05).

6.4.2.2 Determinación de la velocidad de respiración y producción de etileno. Los Cuadros 21 y 22 muestran el análisis de varianza para las variables velocidad de respiración y producción de etileno, respectivamente, de los frutos de zapote mamey madurados en condiciones de temperatura ambiente. Para la velocidad de respiración, el análisis de varianza mostró significancia estadística para recubrimiento y días, así como la interacción entre estos dos. Por otro lado, Se puede observar que los dos factores (recubrimiento y días) tuvieron una influencia en la producción de etileno, no así la interacción entre los dos factores.

Cuadro 21. Análisis de varianza de la variable fisiológica velocidad de respiración de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábica y cera de candelilla y mantenidos bajo condiciones de refrigeración y después madurados durante 6 d a temperatura ambiente.

Fuente	Velocidad de respiración				
[†] DDAR	5	10	15	20	25
Tratamiento	342038.1	364654	121740	261181.6	138224.8
Error	130040	74966.85	95967	124884.54	151789.92
Valor F para recubrimiento	32.91*	129.10*	17.51*	19.62	15.96*
Valor F para días	25.26*	34.19*	5.27*	22.70	4.71*
Valor F para la interacción	4.16*	5.95*	4.11*	2.88*	2.36*
r ²	0.724	0.829	0.559	0.676	0.476
CV	24.567	19.97	23.55	25.139	29.72
Media	98.073	95.053	91.206	97.46	90.89

[†]DDAR = Días de almacenamiento de los frutos con recubrimiento bajo condiciones de refrigeración;

*Indican significancia estadística ($P \leq 0.05$); CV (%) = Coeficiente de variación.

Cuadro 22. Análisis de varianza de la variable fisiológica producción de etileno de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábica y cera de candelilla y mantenidos bajo condiciones de refrigeración y después madurados durante 6 d a temperatura ambiente.

Fuente	Producción de etileno				
^a DDAR	5	10	15	20	25
Tratamiento	1217664	258041.6	142119.2	294737.93	621686.3*
Error	418338.8	367866.8*	326190.2	445191	376621.41
Valor F para recubrimiento	48.58*	17.90*	2.83*	18.43*	30.35*
Valor F para días	34.64*	5.29*	4.40*	5.48*	13.79*
Valor F para la interacción	1.43*	0.80	0.81	0.46	2.42*
r ²	0.744	0.412	0.303	0.398	0.622
CV	18.207	18.265	17.34	20.183	19.95
Media	237.349	230.236	228.377	229.22	213.24

^aDDAR = Días de almacenamiento de los frutos con recubrimiento bajo condiciones de refrigeración *Indican significancia estadística ($P \leq 0.05$); CV (%) = Coeficiente de variación.

La velocidad de respiración está directamente relacionada con la temperatura (Kader y Saltveit, 2003). Ergun *et al.* (2005) mencionaron que algunas prácticas postcosecha como el cepillado pueden llegar a inducir un efecto de corte en los frutos y acelerar los procesos asociados al efecto del etileno en la maduración.

La mayoría de los frutos mostraron un comportamiento climatérico típico, lo que indica que el material se encontraba aún en la etapa preclimatérica para la variable de velocidad de respiración (Figura 7). En los frutos testigo (sin recubrimiento) se encontró un patrón climatérico en la velocidad de respiración en los días de tratamiento, Sin embargo, un comportamiento distinto se presentó en la producción de etileno, pues en los frutos mantenidos durante 5 y 15 d bajo condiciones de refrigeración se presentó un aumento en la

producción de etileno cuando se traslado a condiciones ambientales, aunque este incremento fue estadísticamente no significativo.

En los frutos recubiertos con el tratamiento 20GA-6CC se observó un incremento en la velocidad de respiración y estos tuvieron significancia estadística ($P \leq 0.05$), pero, cuando se mantuvo durante 15 d en refrigeración y luego se traslado a condiciones de maduración, pero la diferencia no fue significativa, aunque si existió un incremento en la tasa respiratoria con respecto al día después del cambio de condiciones de refrigeración a temperatura ambiente, mientras que en la producción de etileno mostró diferencia no significativa a los 15 y 20 días.

En los frutos recubiertos con 8% y 10 % de CC presentaron una condición particular para la producción de etileno pues presentaron un incremento en la velocidad de producción del mismo después de su traslado a condiciones ambientales de maduración (20°C y 60 % de HR) pero, la comparación de medias mostró diferencia no significativa a los 5, 10 y 25 d de tratamiento en frutos recubiertos con 20GA-8CC y en los frutos recubiertos con 20GA-10CC sólo se encontró diferencia a los 25 d de tratamiento, éste último comportamiento quizás se deba a que el postclimatérico se había alcanzado previamente bajo condiciones de refrigeración. Este comportamiento es congruente con lo mostrado con Oms *et al.* (2008) en melón mínimamente procesado, observaron que la aplicación de recubrimientos basados en polisacáridos inhiben la producción de etileno.

Sin embargo, para la velocidad de respiración de los frutos recubiertos con 8 % de CC si mostraron diferencia en la prueba de Tukey a los 10, 15 y 20 d para los frutos recubiertos con 20GA-8CC, lo que indica que se presentó el estado preclimatérico en estos frutos. En los

frutos tratados durante 5 y 25 d se observa un aumento en la velocidad de respiración (Figura 7) aunque en la comparación de medias fuer estadísticamente no significativo, este comportamiento puede deberse a la heterogeneidad de la fruta porque aún no se ha consolidado un mejor índice de cosecha, lo que provoca que los frutos pueden presentar diversos grados de madurez incluso si provienen de un mismo árbol (Gaona *et al.*, 2008).

Mientras que en los frutos recubiertos con 20GA-10CC únicamente se encontró diferencia no significativa en el último día de tratamiento (25 d) (Figura 7) y esto se atribuye a que el pico climatérico pudo haber ocurrido durante la conservación bajo condiciones de refrigeración y que cuando se cambiaron los frutos a condiciones ambientales, éstos ya se encontraban en un estado postclimatérico. El comportamiento previamente observado también se ha reportado por Martínez *et al.* (2008) en frutos de zapote mamey.

Los picos climatéricos aparecieron después del cambio de condiciones de almacenamiento de refrigeración a temperatura ambiente, lo cual ha sido también reportado previamente (Villanueva *et al.*, 2000; Casas, 1977; Ergun *et al.*, 2005; Alia *et al.*, 2005a). Los frutos almacenados durante 5 d en refrigeración y después madurados a temperatura ambiente mostraron un estado preclimatérico y los valores máximos de respiración se presentaron entre los 2 y los 4 días después de su transferencia a condiciones de maduración (22.04 ± 1.60 °C y 59 ± 4.73 %). La aparición del pico de etileno fue posterior a la aparición del pico de CO₂ aunque fueron ligeramente perceptibles y no se presentó diferencia estadística (Cuadro 22). En los frutos almacenados durante 10 y 15 d bajo condiciones de refrigeración mostraron comportamientos similares a los de 5 d para el pico climatérico del CO₂, entre 0.5 y 4 d fue el tiempo en que apareció el valor máximo de respiración. Pero para los días 20 y

25 en refrigeración, los picos aparecieron entre 1 y 3 d después del traslado a condiciones de temperatura ambiente de maduración.

Los valores de producción de CO₂ y etileno para todos los tratamientos se muestran en los Cuadros 23 y 24. Los valores máximos de producción de CO₂ y etileno para el testigo fueron de 167.85 mL kg⁻¹ h⁻¹ y 310.69 µL kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente, los frutos del tratamiento 20GA-6CC fueron de 174.68 mL kg⁻¹ h⁻¹ y 298.02 µL kg⁻¹ h⁻¹, para el tratamiento de 20GA-8CC fueron de 187.18 mL kg⁻¹ h⁻¹ y 297.19 µL kg⁻¹ h⁻¹ y los del tratamiento de 20GA-10CC fueron de 182.13 mL kg⁻¹ h⁻¹ y 293.46 µL kg⁻¹ h⁻¹. Se encontró diferencia significativa entre tratamientos en la velocidad de respiración pero no hubo un tratamiento que mostrará constancia a través del tiempo (Cuadros 23 y 24) y esta variabilidad en el comportamiento se explica porque los frutos provienen de materiales criollos, lo que ocasiona una gran heterogeneidad (Martínez *et al.*, 2006), además de que no existe un índice que permite conocer con mayor precisión la madurez fisiológica del fruto.

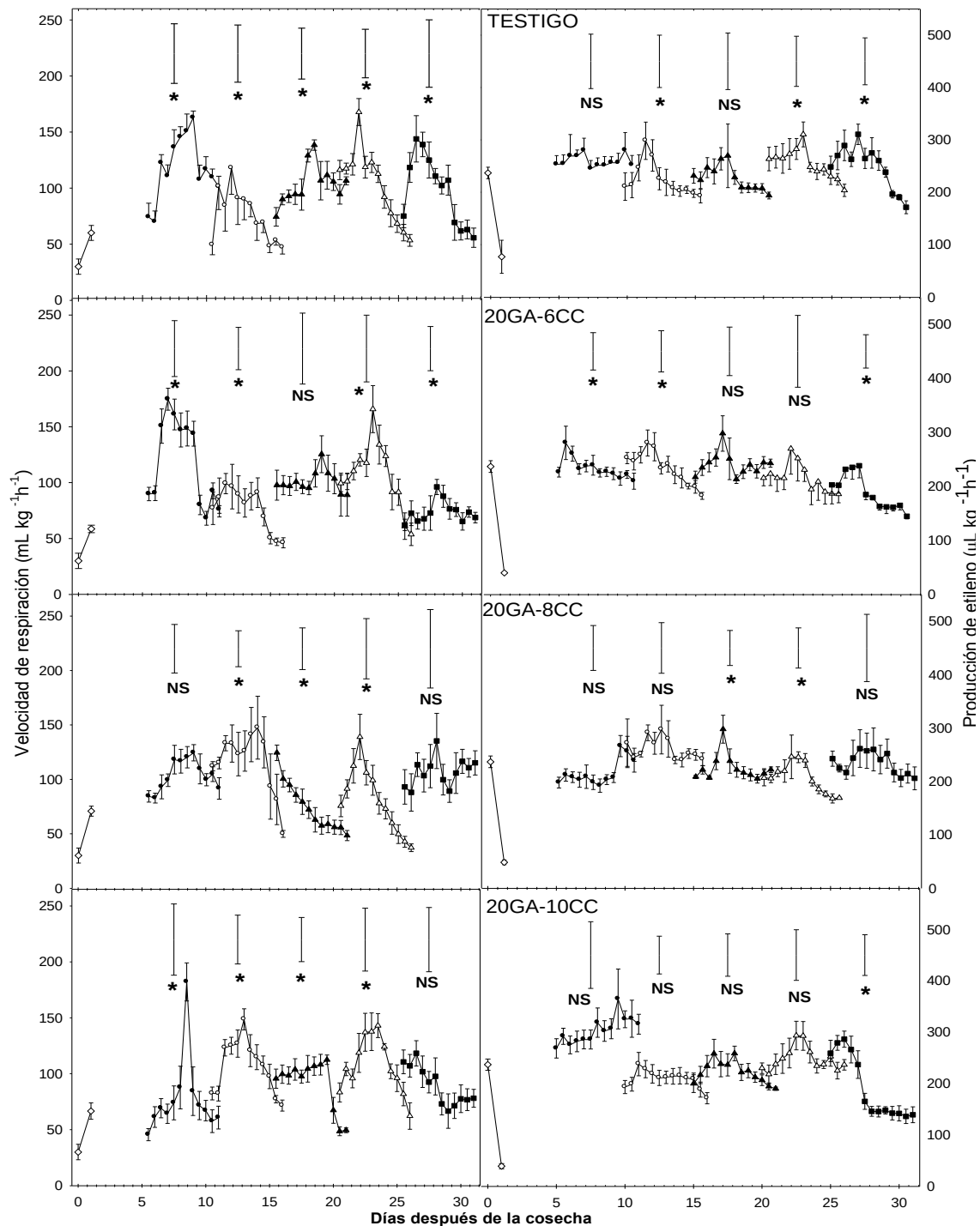


Figura 7. Velocidad de respiración y producción de etileno en frutos de zapote mamey después de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración por 5, 10, 15, 20 y 25 d a 12.79 ± 0.5 °C y 90.7 ± 4.3 % HR, contados a partir del segundo día posterior a la cosecha. Cada punto representa la media de cinco observaciones $\pm$ error estándar. Las líneas verticales encima de los datos gráficos indican la diferencia significativa honesta (Tukey, 0.05); * Indican diferencia entre medias (Tukey, 0.05); NS = no significativo(Tukey, 0.05).

Cuadro 23. Comparación de medias de las variables de velocidad de respiración, producción de etileno y días a pico climatérico de respiración y etileno, bajo diferentes tiempos de refrigeración y diferentes recubrimientos comestibles.

Tratamiento	Velocidad de respiración (mL kg ⁻¹ h ⁻¹)	Día del pico climatérico	Producción de etileno (μL kg ⁻¹ h ⁻¹)	Día del pico climatérico
<i>Almacenamiento por 5 d a 12.79 ± 0.5 ° + 6 d a 22.04 ± 1.60 °C</i>				
Testigo	117.37 a	9	260.34 b	10
20GA-6CC	118.60 a	7	230.71 c	5.5
20GA-8CC	103.76 b	9	216.62 c	9.5
20GA-10CC	77.16 c	8.5	306.65 a	9.5
DSH	11.72		21.62	
C.V	23.76		18.02	
<i>Almacenamiento por 10 d a 12.79 ± 0.5 ° + 6 a 22.04 ± 1.60 °C</i>				
Testigo	75.53 c	12.5	222.88 b	11.5
20GA-6CC	76.90 c	12	228.29 b	11.5
20GA-8CC	136.53 a	14	259.55 a	12.5
20GA-10CC	106.56 b	13	209.61 b	11
DSH	9.10		18.92	
C.V	19.53		17.38	
<i>Almacenamiento por 15 d a 12.79 ± 0.5 ° + 6 a 22.04 ± 1.60 °C</i>				
Testigo	103.22 a	18.5	224.16 a	17.5
20GA-6CC	100.76 ab	19	242.56 a	17
20GA-8CC	74.74 c	15.5	227.13 a	17
20GA-10CC	91.07 b	19.5	224.36 a	18
DSH	10.395		19.123	
CV	23.76		17.60	

Letras iguales en las mismas columna indica diferencia no significancia entre medias de una misma columna (Tukey, 0.05); CV (%) = Coeficiente de variación; DSH =Diferencia significativa honesta.

Cuadro 24 Comparación de medias de las variables de velocidad de respiración, producción de etileno y días a pico climatérico de respiración y etileno, bajo diferentes tiempos de refrigeración y diferentes recubrimientos comestibles.

Tratamiento	Velocidad de respiración (mL kg ⁻¹ h ⁻¹)	Día del pico climatérico	Producción de etileno (mL kg ⁻¹ h ⁻¹)	Día del pico climatérico
<i>Almacenamiento por 20 d a 12.79 ± 0.5 ° + 6 a 22.04 ± 1.60 °C</i>				
Testigo	102.42 a	22	254.31 a	23
20GA-6CC	105.90 a	23	212.46 b	22
20GA-8CC	80.37 b	22	203.39 b	22
20GA-10CC	107.24 a	23	249.76 a	22.5
DSH	11.77		22.38	
C.V	25.13		20.56	
<i>Almacenamiento por 25 d a 12.79 ± 0.5 ° + 6 a 22.04 ± 1.60 °C</i>				
Testigo	97.66 ab	26.5	241.55 a	27
20GA-6CC	73.79 c	27.5	183.42 b	27
20GA-8CC	106.92 a	26.5	233.53 a	27
20GA-10CC	89.35 b	26.5	186.13 b	26
DSH	12.73		20.07	
CV	29.26		20.08	

Letras iguales en las mismas columna indica diferencia no significancia entre medias de una misma columna (Tukey, 0.05); CV (%) = Coeficiente de variación; DSH =Diferencia significativa honesta.

6.4.2.3 Determinación de metabolitos anaerobios. Los valores del análisis de varianza para la producción de metabolitos anaerobios se muestran en el Cuadro 25. La producción de alcohol fue afectada principalmente por el tipo de recubrimiento y los días, bajo condiciones de refrigeración. Mientras que la producción de acetaldehído fue afectada principalmente por los días de tratamiento en condiciones de baja temperatura.

Cuadro 25. Análisis de varianza de las variables fisiológicas etanol y acetaldehído que corresponden a los metabolitos anaerobios de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábica y cera de candelilla y mantenidos bajo condiciones de refrigeración y madurados durante 6 d a temperatura ambiente.

Fuente	Alcohol		Acetaldehído	
DDA	0	6	0	6
Tratamiento	3952.680	167999.486	114.342	1852.776
Error	68.3515	14513.033	7.34	419.807
F del modelo	182.62*	36.56*	49.13*	13.94*
Valor de F para el				
recubrimiento	205.99*	62.00*	20.27	17.00*
Valor de F para				
días	316.13*	80.44*	164.55*	10.28*
F para la				
interacción	132.27*	15.57*	17.88*	14.39*
r ²	0.983	0.920	0.939	0.815
CV	10.55	21.967	23.41	19.442
Media	10.115	70.798	1.494	13.605

[†]DDA = Días después de almacenamiento de los frutos con recubrimiento *Indican significancia estadística ($P \leq 0.05$); CV (%) = Coeficiente de variación.

Bajo ciertas circunstancias, los frutos pueden estar sometidos a bajas concentraciones de oxígeno en el ambiente, esto los obliga a realizar un metabolismo fermentativo. Las dos enzimas implicadas en esta reacción son la piruvato descarboxilasa y la alcohol deshidrogenasa (Taiz and Zeiger, 2010). Pesis (2005) menciona que durante la maduración de los frutos en el árbol y después de cosechados algunos procesos esenciales involucran la producción de metabolitos anaeróbicos (etanol y acetaldehído); estos procesos son la producción de volátiles aromáticos y la remoción de la astringencia de los frutos y que la producción de metabolitos anaeróbicos puede suceder bajo condiciones aeróbicas.

Podd y Van Staden (1998) mencionaron que en condiciones naturales la proporción acetaldehído/etanol es 1:1, y se puede incrementar a 1:5 ó 1:2 por la exposición del fruto a niveles elevados de CO₂, aunque Pesis (2005) menciona que existen más factores que pueden alterar la proporción en la producción de etileno como son las características genéticas, si el fruto es climatérico o no climatérico y las condiciones de almacenamiento de los frutos.

Todos los tratamientos mostraron un contenido bajo de alcohol y acetaldehído bajo condiciones de refrigeración. Existen pocos trabajos que aborden el contenido de estos compuestos en zapote mamey. Sin embargo, para otros frutos se ha observado un incremento gradual en el contenido de metabolitos anaerobios con la maduración. El testigo mostró valores de 15.23 mg kg⁻¹ etanol y se elevó a valores cercanos a los 40 mg kg⁻¹, siendo estos valores cercanos a los mostrados por Alia *et al.* (2005b). Para el factor días bajo tratamiento, los valores de etanol fueron en aumento de acuerdo al tiempo (Cuadro 26), y estos datos son también similares a los mostrados por Alia *et al.* (2005b) quienes los asociaron a contenidos normales en frutos en madurez de consumo.

Sin embargo, en el factor de variación que corresponde al tipo de recubrimiento se presentó una diferencia con respecto a trabajos previos (Zuckerman *et al.*, 1997), pues los valores para acetaldehído fueron de 1 a 2 mg kg⁻¹ (Cuadro 26) bajo condiciones de refrigeración, y aumento de 11 a 17 mg kg⁻¹ después de 6 d de maduración. Por otro lado, el contenido de acetaldehído para el factor días de tratamiento no presentó grandes cambios, y se situó en valores de 0.8 a 1.2 mg kg⁻¹ bajo condiciones de refrigeración y un ligero aumento después de 6 d de maduración, con valores similares al factor tipo de recubrimiento (Cuadro 26).

Finalmente, la relación final del contenido de acetaldehído/etanol fue de 1:5, esta proporción de acumulación de metabolitos anaerobios concuerda con lo mencionado por Alia *et al.* (2005b) en frutos de zapote mamey de la misma región.

Cuadro 26. Producción de metabolitos anaerobios de frutos de zapote mamey recubiertos con formulaciones de GA y diferentes concentraciones de CC, y almacenados a diferentes tiempos y madurados a temperatura ambiente (22.04 ± 1.60 °C y 59 ± 4.73 %) ($P \leq 0.05$)

Nivel en factor	Etanol (mg kg ⁻¹)		Acetaldehído (mg kg ⁻¹)	
DDA [†]	0	6	0	6
<i>Factor TR: Tipo de recubrimiento</i>				
Testigo	15.23a	42.07d	1.97a	11.37c
20GA-6CC	8.48b	55.70c	1.15c	12.16bc
20GA-8CC	7.99b	81.82b	1.32bc	16.86a
20GA-10CC	8.74b	103.58a	1.52b	14.02b
DSH	0.89	12.99	0.29	2.21
<i>Factor DA: Días bajo tratamiento</i>				
5	7.81c	22.14c	1.05bc	11.37c
10	18.25a	63.17b	0.82c	16.83a
15	6.14d	73.31b	0.87c	12.63bc
20	8.47c	75.46b	1.25b	14.48ab
25	9.89b	119.89a	3.47a	12.63bc
DSH	1.06	15.46	0.34	2.63
CV (%) [‡]	10.55	21.96	23.41	19.44
TR*DA	*	*	*	*

[†]DDA = Días después de almacenamiento de los frutos con recubrimiento; [‡]Letras iguales indican diferencia no significativa entre medias de una misma columna (Tukey, $\alpha=0.05$); DSH = Diferencia significativa honesta; CV (%)[‡] = Coeficiente de variación; * indica significancia estadística de la interacción ($P \leq 0.05$).

6.4.3 Variables fisicoquímicas

El análisis de varianza para las características fisicoquímicas, firmeza y color de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábica y cera de candelilla se muestran en el Cuadro 27.

Cuadro 27 Análisis de varianza de las variables fisicoquímicas de frutos de zapote mamey recubiertos con emulsiones de goma arábica y cera de candelilla

Fuente	°Brix		pH		Acidez titulable		Firmeza		Color					
									Luminosidad		Ángulo de matiz		Saturación	
	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6
Trat.	1912.2	762.44	7.052	8.36	0.075	0.0726	334.324	28049.5	1156.25	1657.55	486.88	363.77	488.61	1344.44
Error	1602.3	1177.56	3.386	11.367	0.064	0.125	376.247	639.004	1643.06	2176.06	1974.06	1547.52	449.01	1101.01
Fmodel	5.02*	2.73*	8.77*	3.10*	4.88*	2.44*	2.81*	138.62*	2.96*	3.21*	1.04	0.99	4.58*	5.14*
Frecub	4.18*	1.20	10.27*	0.87	4.19*	0.90	1.47	52.48	3.65*	4.30*	3.01*	1.23	2.05	3.35*
Fdías	18.19*	6.75*	16.34*	10.17*	7.43*	4.78*	9.52*	499.42*	9.46*	8.74*	0.37	0.83	18.47*	14.36*
Fintera	0.85	1.77	5.87*	1.30	4.20*	2.04*	0.0	39.89*	0.63	1.09	0.77	0.98	0.58	2.52*
r ²	0.544	0.393	0.675	0.423	0.536	0.366	0.470	0.977	0.413	0.432	0.197	0.190	0.521	0.549
CV	31.21	16.95	3.42	5.645	21.751	41.73	4.28	30.00	6.97	9.04	9.79	9.18	4.41	7.36
Media	14.33	22.63	6.01	6.67	0.130	0.094	58.47	10.875	65.01	57.64	50.71	47.87	53.66	50.40

Indican significancia estadística ($P \leq 0.05$); CV (%) = Coeficiente de variación; Trat = tratamiento.

De acuerdo con Díaz *et al.* (2000) la maduración está asociada con el ablandamiento de la pulpa, aumento del contenido de SST, cambios en el color (rosa-pálido a rosa rojo) sin manifestarse en la cáscara cambios en el color.

Los SST al finalizar el tiempo de refrigeración presentaron ligeras diferencias. El tratamiento que mayor contenido de SST presentó fue el de 20GA-8CC, después de 6 d de maduración a 22 °C (Cuadro 28). Los valores fueron similares en todos los tratamientos, sin presentar diferencia estadística ($P \leq 0.05$), el contenido osciló entre 21 y 25 %. Sin embargo, estos valores son inferiores a los SST mostrados por (Díaz *et al.*, 2000; Villanueva *et al.*, 2000; Gaona *et al.*, 2008), pero ligeramente superiores a los mostrados por Ramos *et al.*, (2009) para frutos de la misma región. Sin embargo existe una gran variabilidad en los contenidos finales de SST debido a factores como la el tipo de fruto, la región de producción y la época de cosecha (Villanueva *et al.*, 2000; Martínez *et al.*, 2006; Gaona *et al.*, 2008). Al considerar estos factores se acepta que el contenido de SST en el presente estudio es normal

El factor días bajo tratamiento (TR) sólo afectó el contenido de SST al momento del retiro de refrigeración, debido a que presentaron valores desde 9 a 19 % de SST (Cuadro 28), cuando fueron madurados durante 6 d, sólo los frutos que se mantuvieron durante 5 d en refrigeración + 6 d de maduración a temperatura ambiente presentaron diferencia estadística pero a los 10, 15, 20 y 25 d no se observó un cambio significativo.

El fruto de zapote mamey es un fruto de baja acidez comparado con frutos como la piña y el maracuyá, y por este motivo, el contenido de acidez presenta poca variación después del

proceso de maduración y generalmente decrece en esta etapa (Díaz *et al.*, 2000; Thompson, 2003; Alia *et al.*, 2007).

Villanueva *et al.* (2000) Mencionaron que el contenido de acidez (ácido málico) del fruto pueden presentar ligeras variaciones que dependen de la fecha de cosecha. De esta manera en cosechas tempranas (febrero-abril) el contenido de acidez puede ser de 0.20 a 0.39 % y disminuyen en cosechas después de mayo a valores de 0.11 %, que concuerda con los valores obtenidos en el presente estudio (Cuadro 28). En general la acidez del zapote mamey no se afectó de manera significativa con ninguno de los dos factores (DA y TR), al disminuir ligeramente de las condiciones de refrigeración y después de su maduración, lo cual concuerda con lo encontrado por Ergun *et al.*, (2005) en frutos de mamey del cv. Pardo recubiertos con cera carnauba y tratados con 1-MCP. Gómez *et al.* (2012) tampoco encontraron cambios en el contenido de esta variable en frutos de Alpayeca, Guerrero, México, durante la maduración. Cruz *et al.* (2009) encontraron un comportamiento similar al mostrado en este estudio con el uso de películas plásticas. Asimismo, Alia *et al.* (2007) mencionaron que la acidez afecta muy poco la calidad de los frutos de zapote mamey.

El pH de los frutos de zapote mamey incrementa dentro del proceso de maduración (Alia *et al.*, 2007). Casas (1977) determinó que el valor del pH en frutos en madurez fisiológica era de 6 y que se mantenía aún en una etapa intermedia de maduración y que en la madurez de consumo alcanzaba un pH de 7. Los datos encontrados en el presente estudio son consistentes con los previamente mencionados (Cuadro 28), para el factor tipo de recubrimiento no se encontró diferencia estadística en la etapa después de refrigeración a excepción del tratamiento de 20GA-8CC, pero esta diferencia desapareció con la maduración

de 6 d. Los valores oscilaron entre 6.60 y 6.80 en la madurez de consumo. Para el factor días bajo tratamiento se encontró que la diferencia máxima entre el pH inicial y final fue con 20 d bajo condiciones d refrigeración + 6 d de maduración a temperatura ambiente, lo cual contrasta con lo mostrado por Cruz *et al.* (2009), que al utilizar películas plásticas encontraron un comportamiento semejante en las primeras etapas bajo condiciones de conservación a bajas temperaturas pero una disminución del pH conforme avanzaba el tiempo de almacenamiento, por otro lado Ramos *et al.*, (2009) mostraron que con el uso de películas plásticas se tiene un efecto contrario a lo encontrado en el presente trabajo, pues al almacenar zapote mamey de la misma región de estudio durante 16 d, los valores de pH presentaron una tendencia decreciente conforme avanzaba el tiempo de almacenamiento.

6.4.4. Color

Villanueva *et al.* (2000) mencionaron que el color de la pulpa de zapote mamey puede variar de acuerdo a la fecha de cosecha. Así en cosechas tempranas (enero-febrero) el color será amarillo-rojizo y en madurez de consumo alcanzará un tono ligeramente rojo, mientras que frutos cosechados al final de la temporada de cosecha de este fruto (mayo-junio) presentarán un color rojo menos intenso (valores altos de h^*). El color de la pulpa es uno de los atributos de calidad que presentan gran variación y dependen de factores como la fecha de cosecha y la temperatura de conservación. (Alia *et al.*, 2007 De esta manera frutos conservados a temperaturas de 10 °C y luego madurados a 25 °C) pueden presentar un color menos rojo (Díaz *et al.*, 2000) que puede ser síntoma de un daño por frío. Mientras que frutos almacenados a una temperatura de 12 °C y en atmósferas controladas presentan pocos

cambios en el ángulo de matiz y los mayores cambios ocurrieron en la luminosidad y la cromaticidad, que se observaron como un oscurecimiento de la pulpa (Martínez *et al.*, 2008)

La luminosidad (L^*) de los frutos para el factor tipo de recubrimiento (TR) presentó ligeros cambios durante el almacenamiento en refrigeración, al situarse en valores entre 62 y 66, y al final de la maduración se presentaron ligeras disminuciones en los valores de esta variable al situarse entre 55 y 60. Igual comportamiento mostró el factor DA pues los valores de luminosidad fueron similares (Cuadro 28).

La tonalidad de la pulpa (ángulo de matiz) es un factor asociado en forma importante con la calidad del fruto de mamey, pues en ella está basado actualmente el índice de cosecha, el cual no evita la amplia variabilidad que existe en las características de los frutos en postcosecha (Martínez *et al.*, 2008). El ángulo de matiz presentó un comportamiento similar para los dos factores (TR y DA) y no presentaron diferencia estadística (Cuadro 28). Todos los valores de los tratamientos se encontraron dentro del intervalo del ángulo de matiz de la pulpa en madurez de consumo y concordaron con valores altos de H^* (Díaz *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2002; Alia *et al.*, 2007) que indica una tono rojo en los frutos.

La cromaticidad no mostró diferencia estadística al término de las condiciones de refrigeración (Cuadro 28), aunque sí existieron ligeros cambios entre tratamientos después de 6 d de maduración entre los tratamientos evaluados. Para el factor DA se encontró que a mayores tiempos de almacenamiento los valores de cromaticidad disminuyeron en mayor proporción respecto a tiempos más cortos de almacenamiento.

En general, los mayores cambios se observaron en la luminosidad y la cromaticidad, lo cual coincide con los datos mostrados por Martínez *et al.* (2008) en frutos de mamey de la región de Tabasco, conservados en atmósfera controlada. Alia *et al.* (2005b) mencionaron que esta disminución involucra un proceso de oscurecimiento donde están involucrados diversos tipos de compuestos fenólicos, como algunos derivados del ácido cinámico y catequinas.

6.4.3 Firmeza

Los frutos de zapote mamey sufren un cambio dramático en la firmeza durante la maduración. Estos cambios se deben a diversos factores como la hidrólisis del almidón, la pérdida de agua (Díaz *et al.*, 2000), la degradación de la pectina de la pared celular del tejido parenquimático, incremento en la respiración y producción de etileno (Pérez *et al.*, 2009; Alia *et al.*, 2007). El ablandamiento es un proceso ligado a la maduración (Casas, 1977). Arenas *et al.* (2003) mencionan que la actividad de la β -galactosidasa durante la etapa climatérica del mamey es la que tiene mayor correlación con el ablandamiento de la pulpa y que la etapa de mayor pérdida de firmeza toma lugar durante el pico climatérico de respiración y en el comienzo de la etapa postclimatérica, esto debido a la acción de las enzimas pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante el preclimaterio y el pico climatérico.

Los valores encontrados en el presente estudio muestran que para la firmeza no se encontró diferencia estadística al momento del retiro de las condiciones de refrigeración, pero al final de la maduración de 6 d se encontró que el tratamiento de 20GA-8CC mostró los valores más bajos de firmeza (Cuadro 28) lo cual puede deberse a la gran variabilidad que existe

entre los frutos aun cuando proceden del mismo árbol y región. Esta situación no se presentó en el factor DA; a través del tiempo de almacenamiento la firmeza disminuyó ligeramente, pero después de 6 d de maduración, la firmeza bajó a valores de 0.08 a 0.11 N. La firmeza en madurez de consumo presenta una amplia variabilidad; Alia *et al.* (2005b) menciona que debe ser entre 1 – 5 N; Díaz *et al.* 2000, propusieron valores 5 a 28 N, Villanueva *et al.* (2000) entre 5-12 N. Sin embargo, los valores encontrados en el presente estudio no pueden ser comparados debido a que el método de medición de la firmeza fue realizado con parámetros distintos de velocidad y magnitud de deformación. Alia *et al.* (2005b) determinó que la madurez de consumo del zapote mamey era cercana a los 10 N con la misma técnica utilizada en este estudio, al considerar este valor, se pudo determinar que para el factor TR, los frutos estaban dentro del intervalo de madurez de consumo, pero para el factor DA, los frutos siempre alcanzaron a un estado de sobremaduración después de 6 d de maduración indistintamente de los tiempos en que se realizó el cambio de las condiciones de temperatura.

Cuadro 28. Efecto del almacenamiento de frutos de zapote mamey bajo recubrimientos comestibles de GA con diferentes niveles de CC, madurados a temperatura ambiente (22.04 ± 1.60 °C y 59 ± 4.73 %)

Nivel en factor	SST (°Brix)		pH		Acidez titulable (%)		Firmeza (N)		Color					
	DDA ^{†¶}								Luminosidad		Ángulo de matiz		Cromaticidad	
	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6
Factor TR: Tipo de recubrimiento														
Testigo	13.72 ab [¶]	23.25 a	6.08 a	6.61 a	0.12 b	0.09 a	58.83 a	14.31 a	66.12 ab	60.19 a	52.25 a	48.85 a	53.50 a	51.93 a
20GA-6CC	12.25 b	21.80 a	6.04 a	6.63 a	0.13 ab	0.09 a	59.10 a	13.73 a	66.73 a	58.45 ab	52.02 a	47.90 a	52.78 a	51.02 ab
20GA-8CC	16.60 a	22.02 a	5.81 b	6.67 a	0.14 a	0.10 a	57.55 a	3.03 b	62.97 b	56.77 ab	48.68 a	48.19 a	54.34 a	48.83 b
20GA-10CC	14.78 ab	23.44 a	6.10 a	6.77 a	0.12 b	0.08 a	58.41 a	12.42 a	64.22 ab	55.16 b	49.87 a	46.54 a	54.02 a	49.81 ab
DSH	3.32	2.84	0.15	0.27	0.02	0.02	2.09	2.72	3.36	3.87	3.68	3.26	1.75	2.75
Factor DA: Días bajo tratamiento														
5	9.39 d	18.82 b	6.25 a	6.30 c	0.10 c	0.09 ab	60.34 a	0.09 ab	63.95 b	60.84 a	50.97 a	48.94 a	52.73 b	53.80 a
10	10.89 cd	23.22 a	5.77 d	6.73 ab	0.15 a	0.11 a	59.96 ab	0.11 a	65.82 b	55.92 b	50.79 a	46.48 a	51.10 b	51.82 a
15	14.3 bc	23.98 a	6.11 ab	6.63 b	0.13 abc	0.11 a	59.91 ab	0.11 a	63.48 b	61.84 a	50.14 a	47.80 a	52.50 b	52.16 a
20	17.89 ab	24.42 a	6.01 bc	7.05 a	0.12 bc	0.06 b	57.57 bc	0.06 b	69.98 a	55.37 b	49.98 a	48.24 a	56.75 a	47.84 b
25	19.22 a	22.70 a	5.90 cd	6.65 b	0.13 ab	0.08 ab	55.59 c	0.08 ab	61.84 b	54.24 b	51.65 a	47.89 a	55.22 a	46.37 b
DSH	3.94	3.38	0.18	0.33	0.02	0.03	2.49	0.03	3.99	4.60	4.38	3.88	2.09	3.27
CV (%) [¶]	31.21	16.95	3.42	5.64	21.75	41.73	4.28	41.73	6.97	9.04	9.79	9.18	4.41	7.36
TR*DA	ns	ns	*	ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*

[†]DDA = Días después de almacenamiento de los frutos con recubrimiento; [¶]Letras iguales indican diferencia no significativa entre medias de una misma columna (Tukey, $\alpha=0.05$); SST = Sólidos Solubles Totales; DSH = Diferencia significativa honesta; CV (%)[¶] = Coeficiente de variación; ns =no significativo; * indica significancia estadística de la interacción ($P \leq 0.05$).

6.5 Conclusiones

El efecto combinado de recubrimientos comestibles bajo condiciones de refrigeración y temperatura ambiente fue evaluado. Se encontró que a través de la maduración a temperatura ambiente se mantuvo una buena apariencia visual, una menor pérdida de peso entre 30 y 50 % más baja en los frutos recubiertos respecto a los frutos testigo. Además, la aplicación de recubrimientos comestibles con un mayor contenido de cera (8 y 10 % de CC) inhibió la producción de etileno, pero mantuvo el estado preclimatérico de los frutos. Además, las características fisicoquímicas de los frutos fueron afectadas principalmente por el factor días bajo tratamiento, debido a que se presentó un aumento gradual en el contenido de SST desde 9.39 bajo condiciones de refrigeración hasta 24.42 después de 6 d de maduración. El pH presentó un incremento similar a través del tiempo con valores iniciales desde 5.77 hasta valores cercanos a 7 terminada la condición de maduración. La acidez titulable presentó ligeras variaciones, de hecho, no se presentó un efecto significativo por alguno de los dos factores (días y tipo de recubrimiento). Igual comportamiento mostraron los atributos del color, que no se afectaron en gran medida por los días bajo tratamiento y el tipo de recubrimiento. Finalmente, la firmeza tuvo un cambio drástico durante la maduración, al inicio los frutos mostraron valores cercanos a 60 N y al cabo de 6 d de maduración su firmeza disminuyó a valores cercanos a 0 N, lo que indica un estado de sobremaduración para el factor días bajo tratamiento. Mientras que los recubrimientos no mostraron diferencia estadística respecto al testigo y mostraron valores entre 12 y 14 N, excepto los frutos tratados con 20GA-8CC que su firmeza disminuyó a 3 N. Sin embargo, hubo poca evidencia que mostrara que alguno de los tres tratamientos fuera el mejor.

7. CONCLUSIONES GENERALES

La caracterización de emulsiones y películas comestibles fue determinada para conocer las propiedades reológicas, físicas y mecánicas de emulsiones de goma arábiga (GA) y cera de candelilla (CC), y películas formadas a partir de éstas. En las emulsiones se observó que un aumento en el contenido de cera afecta de manera proporcional el tamaño de gota al aumentar de 1.03 μm en la emulsión con 6 % de CC hasta 2.29 μm en la emulsión con 10 % de CC. El comportamiento de flujo de las emulsiones presentó una tendencia similar, pues a bajos contenidos de cera (6 y 8 %), la viscosidad aparente estuvo en el intervalo de 4 a 6 Pa·s, mientras que en la emulsión con 10 % de CC, la viscosidad se incrementó casi 20 veces al presentar un valor de 105 Pa·s. La modelación de las curvas de flujo mostró que las emulsiones 20GA-10CC y 20GA-8CC tuvieron un comportamiento pseudoplástico, en contraste, la emulsión 20GA-6CC presentó un comportamiento cercano al newtoniano. La permeabilidad a vapor de agua presentó diferencia no significativa entre la películas que contenían 6 y 8 % de CC, con permeabilidades de $14 \times 10^{-12} \text{ g m Pa}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y una permeabilidad más baja en la película con 10 % de CC ($8.1 \times 10^{-12} \text{ g m Pa}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). El parámetro % de elongación en las películas presentó un comportamiento inversamente proporcional al contenido de cera, así, la elongación en las películas de 6 y 8 % de CC fueron estadísticamente iguales con porcentajes de elongación de 45 %, mientras que la película con 10 % de CC su porcentaje de elongación fue de 25 %. Los parámetros que componen el color mostraron que las películas estaban en el cuadrante 2, donde se sitúa el tono amarillo. La luminosidad y el ángulo de matiz disminuyeron de acuerdo a un aumento en el contenido de cera en las películas.

Sin embargo, las tres películas mostraron una baja cromaticidad que aumento proporcional al contenido de cera agregado en la película.

El uso de recubrimientos comestibles permite una maduración adecuada en frutos de zapote mamey almacenados durante 25 d en condiciones de refrigeración y mantiene la condición fisiológica en estado preclimatérico, una buena apariencia visual y una pérdida de peso entre 30 y 50 % testigo. Las variables fisicoquímicas como los °Brix, pH de los frutos estuvieron fuertemente influenciados por el factor días bajo tratamiento pues presentaron un aumento gradual de 9 a 24 en los °Brix y el pH aumento desde 5.7 hasta 7. Mientras que, el factor días bajo tratamiento provocó un comportamiento inversamente proporcional en la firmeza de los frutos al disminuir de 60 N a cerca de 0 N después del periodo de maduración, que indica una sobremaduración del zapote mamey. En los frutos testigo (sin recubrimiento) y el 20GA-6CC se presentó un estado preclimatérico, después de su traslado a condiciones de maduración en la producción de etileno. No obstante, en los frutos recubiertos con 20GA-8CC y 20GA-10CC se encontró una inhibición en la producción de etileno al no encontrarse diferencia significativa después de su traslado a condiciones de maduración. La velocidad de respiración fluctuó entre 75 y 117 mL kg⁻¹ h⁻¹ en los frutos testigo, mientras que la velocidad de respiración osciló entre 73 -118, 74-136, 77-107 mL kg⁻¹ h⁻¹ en los frutos recubiertos con 20GA-6CC, 20GA-8CC y 20GA-10CC respectivamente. Los resultados proporcionan poca evidencia para determinar un mejor tratamiento y esto quizás sea debido en parte a la heterogeneidad de los frutos de trabajo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adaskaveg J.E., Förster H., Sommer N.F. 2002. Principles of postharvest pathology and management of decays of edible horticultural crops. *In: Postharvest Technology of Horticultural Crops*. KADER, A.A. (ed.). University of California, Davis, California, USA. pp 163-196.
- Al-Assaf, S., Phillips, G. O., Aoki, H., Sasaki, Y. 2007. Characterization and properties of *Acacia senegal* (L.) Willd. var. *senegal* with enhanced properties (*Acacia* (sen) SUPER GUM(TM)): part 1-Controlled maturation of *Acacia Senegal* var. *senegal* to increase viscoelasticity, produce a hydrogel form and convert a poor into a good emulsifier. *Food Hydrocolloids* 21: 319-328.
- Ali, A., Mahmud, T.M.M., 2008. The potential use of locally prepared chitosan to control *in vitro* growth of *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from papaya fruits. *Acta Hort.* 804 : 177-182.
- Ali, A., Maqbool, M., Ramachandran, S., Alderson, P.G. 2010. Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 58: 42–47.
- Ali, A., Mahmud, T.M.M., Sijam, K., Siddiqui, Y. 2011. Effect of chitosan coatings on the physico-chemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during storage. *Food Chem.* 124: 620-626.
- Ali, A., Maqbool, M., Alderson, P.G., Zahid, N. 2013. Effect of gum arabic as an edible coating on antioxidant capacity of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology* 76: 119-124.
- Alia, I., Saucedo, V. D., Martínez, D.M.T., Colinas, L.M.T. 2000. Temperaturas de almacenamiento y maduración de frutos de mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn]. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6(1): 73-78.
- Alia, T.I., Colinas, L.M.T., Martínez, D.M.T., Soto, H.M.R. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) durante poscosecha. *Rev. Rev. Chapingo Serie. Horticultura* 8: 263-271.

- Alia, T.I., Colinas, L.M.T., Martínez, D.M.T., Soto, H.M.R. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) durante poscosecha. *Rev. Rev. Chapingo Serie. Horticultura* 8: 263-271.
- Alia T.I., Colinas L. M.T., Martínez D. M.T, Soto H.R.M. 2005a. Daños por frío en zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn]. I. Cambios en volátiles, firmeza y azúcares totales. *Rev. Fitotec. Mex.* 28:17-24
- Alia, T.I., Colinas L. M.T., Martínez D. M.T, Soto H.R.M. 2005b. Daños por frío en zapote mamey *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn]. II. Cambios en fenoles totales y actividad enzimática. *Rev. Fitotec. Mex* 28: 25-32.
- Alia, T.I., Villanueva, A.R., Pelayo, Z.C., Colinas, L.M.T., López, M.V., Bautista, B.S. 2007. Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn). *Postharvest Biol. Technol.* 45, 285-297.
- Altenhofen, M., Krause, A.C., Guenter, T. 2009. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca^{+2} ions: effect of the plasticizer concentration, *Carbohydrate Polymers*, 77: 736-742.
- Álvarez, V.J.E., Chávez, F.S.H., Alia, T.I., Nieto, A.D., Valle, G.S. 2012. Efecto del ácido 2-cloroetil fosfónico sobre la maduración de frutos de zapote mamey. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(3): 357-370.
- Amarante C., Banks N.H. 2001. Postharvest physiology and quality of coated fruits and vegetables. *Hort. Rev.* 26:161-237.
- American Society for Testing Materials (ASTM). 1987. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of materials. ASTM E 96-80, 629-636.
- American Society for Testing Materials (ASTM). 2000. Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. Designation: 882-00. *In: Annual Book of ASTM Standards.* ASTM, Philadelphia, PA, 160-168.
- Arenas, O.M.L., Evangelista, L.S., Arana, E.R., Jiménez, A.A.R., Dávila, O.A.G. 2003. Softening and biochemical changes of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota*) at different development and ripening stages. *J. Food Biochem.* 27: 91–107.
- Ayranci, E., Tunc, S. 2001. The effect of fatty acid content on water vapour and carbon dioxide transmissions of cellulose-base edible films. *Food Chemistry* 72(2): 231-236.

- Azurdia, O., Martínez, E., Ayala, H. 1995. Algunas sapotáceas del Petén, Guatemala. *Proceedings of the Interamerican Society of Tropical Horticulture* 39:119-126.
- Baldwin, E.A., Baker, R.A. 2002. Use of proteins in edible coatings for whole and minimally fruits and vegetables. *In: Gennadios, A., editor. Protein based films and coatings*, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp 501-515.
- Balerdi, C.F., Crane, J.H., and Campbell, C.W. 1996. The mamey sapote. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. FC-30. 8p.
- Balerdi, C.F., Shaw, P.E. 1998. Sapodilla, sapote and related fruit. *In: Tropical and Subtropical Fruits*. Ag Science, Auburndale, Florida, USA. pp 78-136.
- Bautista, B. S., Díaz, P.J.C., Villanueva, A.R. 2005. Sapote mamey: postharvest behaviour and storage of a valuable tropical fruit. *In: Fruits: growth and quality*. Ramdane, D. (ed.). WFL Publisher, Helsinki, Finland. pp 25-32.
- Belloso, O. M., Soliva Fortuny, R. C. y Baldwin, E. A. 2005. Conservación mediante recubrimientos comestibles. *In: González Aguilar, G. A., Alfonso, A. G. y Cuamea N. F. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD, A.C). pp 340-356.
- Bird, R. B., Armstrong, R. C., Hassager, O. 1987. Dynamics of polymeric liquids, fluid mechanics, vol. 1. NewYork: Wiley.
- Bonilla, J., Atarés, L., Vargas, M., & Chiralt, A. 2012. Effect of essential oils and homogenization conditions on properties of chitosan-based films. *Food Hydrocolloids*, 26: 9-16.
- Bosquez, E., Vernon E.J., Pérez L., Guerrero I. 2000. Películas y cubiertas comestibles para la conservación en fresco de frutas y hortalizas. *Industria Alimentaria*. 22:14-36.
- Bosquez, M.E., Guerrero, L.I, Vernon, C.E.J. 2003, Moisture barrier properties and morphology of mesquite gum-candelilla wax based edible emulsions coatings. *Food Research International* 36 (3): 885-893.
- Bosquez, M.E., Tomás, S.A., Rodríguez, H.M.E. 2010. Influence of CaCl_2 on the water vapor permeability and the surface morphology of mesquite gum based edible films. *LWT. Food Science and Technology* 43: 1419-1425.
- Bourtoom, T. 2008. Edible films and coatings: Characteristics and properties. *International Food Research Journal* 15 (3): 237-248.

- Brody A.L. 1989. Controlled/modified atmosphere/vacuum packaging of foods. Food Nutrition and Press Inc. pp. 3-10.
- Campbell, C.A. 1994. Handling of Florida-grown and imported tropical fruits and vegetables. Hortscience 29:975-978.
- Campbell, R.J., Zill, G., Mahdeem, H. 1997. New mamey sapote cultivars from tropical america. Proc. Interamer. Soc. Tropical Hort. 41: 219-222
- Carneiro-da-Cunha M.G., Cerqueira M.A., Souza B.W.S., Souza M.P., Teixeira J.A., Vicente A.A. 2009. Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. Journal of Food Engineering 95: 379–385.
- Carreau, P. J.1968. Rheological equations from molecular network theories. Ph.D. thesis, University of Wisconsin—Madison.
- Casariogo, A., Souza, B.W.S., Vicente, A.A., Teixeira, J.A., Cruz, L., Díaz, R., 2008. Chitosan coating surface properties as affected by plasticizer, surfactant and polymer concentrations in relation to the surface properties of tomato and carrot. Food Hydrocolloids 22, 1452–1459.
- Casas A.N. 1977. Cambios fisiológicos y bioquímicos durante la maduración del mamey (*Calocarpum mammosum*). Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México. 95 p.
- Chien, P., Sheu, F., Yang, F., 2007. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. Journal of Food Engineering 78, 225–229.
- Chiumarelli, M. y Hubinger, M.D. 2012. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch - Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. Food Hydrocolloids 28:59-67.
- Cissé, M., Montet, D., Loiseau, G., Ducamp, M.N.C. 2012. Influence of the Concentrations of Chitosan and Glycerol on Edible Film Properties Showed by Response Surface Methodology. Journal of Polymers and the Environment 20: 830-837
- CONAFRUT. 1974. El Cultivo del Mamey. Serie de Divulgación. Folleto No. 14. DF. Mexico. 20 p.
- Cruz, V.G., Alia, T.I., López, M.V., Andrade, R.M., Acosta, D.C.M., Villegas, T. O. G., Guillén, S.D., Ariza F.R., Villarreal, F.J., 2009. Atmosferas modificadas y temperatura

- baja en frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn]. *Investigación Agropecuaria* 6 (2): 173- 182.
- Dang, K.T.H., Singh, Z., Swinny, E.E. 2008. Edible coatings influence ripening quality, and aroma biosynthesis in mango fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (4): 1361-1370.
- Dangaran, K., Tomasula, P.M., Phoebe, Q. 2009. Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings. *In: Edible Films and Coatings for Food Applications*. Embuscado, M.E., Huber K.C. (eds.). Springer Science, New York, NY, USA, pp 25-56.
- Debeaufort, F., Martin, P.M., Voilley, A. 1993. Polarity homogeneity and structure affect water vapor permeability of model edible films. *Journal of Food Science* 58: 426-434.
- Debeaufort F., Quezada, G. J. A., Voilley, A. 2000. Edible barriers: a solution to control water migration in foods. *In: Risch, S.J. (ed). Food Packaging. Testing Methods and Applications*. American Chemical Society. Washington, DC. USA. pp. 9-16.
- Debeaufort, F., Voilley, A. 2009. Lipid-Based Edible Films and Coatings. *In: Edible Films and Coatings for Food Applications*. Embuscado M.E., Huber K.C. (Eds.). Springer, NY, USA. pp 135-168.
- Desplanqués, S., Renou, f., Grisel, M., Malhiac, C. 2012. Impact of chemical composition of xanthan and acacia gums on the emulsification and stability of oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids* 27: 401-410
- Díaz, P.J.C., Bautista, B.S., Villanueva A.R. 2000. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. *Postharvest Biology and Technology* 18: 67-73.
- Díaz, J.C., Bautista, B.S., Villanueva, A.R., López, G.R. 2003. Modeling the ripening of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn] fruit at various temperatures. *Postharvest Biology and Technology* 28:199-202.
- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids* 17: 25-39.
- Dickinson, E. 2009. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 23: 1473-1482.
- Dolz, M., Hernández, M.J., Delegido, J., Alfaro, M.C., Muñoz, J. 2007. Influence of xanthan gum and locust bean gum upon flow and thixotropic behaviour of food emulsions containing modified starch. *Journal of Food Engineering* 81:179–186

- Domínguez, B., Martínez, M.A., Alia, T.I. 2010. Caracterización de ecotipos de zapote mamey (*Pouteria sapota*). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 11 (2): 122-129.
- Durango, A., Soares, N., Andrade, N. 2006. Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. Food Control 17 (5): 336–341.
- El-Anany, A.M., Hassan, G.F.A., Rehab Ali, F.M. 2009. Effects of edible coatings on the shelf-life and quality of Anna apple (*Malus domestica* Borkh) during cold storage. Journal of Food Technology 7: 5–11.
- Emmambux N.M. and Minaar A. 2003. The effect of edible coatings and polymeric packaging films on the quality of minimally processed carrots. Journal of the Science of Food and Agriculture 83(10): 1065-1071.
- Ergun, M., Sargent, S.A., Fox, A.J., Crane, J.A., Huber, D.J. 2005. Ripening and quality responses of mamey sapote fruit to postharvest wax and 1-metilciclopropene treatments. Postharvest Biology and Technology 36: 127- 134.
- European Bioplastics 20008. Plastics Demand by converters in Europe in 2008, Berlin, Germany. Consultado en: www.european-bioplastics.org
- Falguera, V., Quintero, J.P., Jiménez, A., Muñoz, J.A., Ibarz A. 2011. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. Trends in Food Science & Technology 22: 292-303.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1999. Gum Arabic. Food and Nutrition Paper, No. 52, addendum 7. Roma, Italia.
- Gaona, G.A., Alia, T.I., López, M.V., Andrade, R.M., Colinas, L.M.T., Villegas, T.O. 2008. Caracterización de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) en el suroeste del Estado de Morelos. Rev. Chapingo S.Hort. 14:41-47.
- García, A.A., Gómez, D.G., Navaza, J.M., Quintáns, R.L.C. 2010. Viscosimetric behaviour of carboxymethyl cellulose – Arabic gum mixtures: A new step to modelling. Carbohydrate Polymers 80: 26-30.
- García M.A., Martino M.N., Zaritzk N.E. 2000. Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings. J Food Sci 65 : 941-947.
- Garti, N. 1999. Hydrocolloids as emulsifying agents for oil-in-water emulsions. Journal of Dispersion Science and Technology, 20: 327-355.
- Garti, N., & Leser, M. 2001. Emulsification properties of hydrocolloids. Polymers for

- Advanced Technologies, 12: 123-135.
- Gazel, F.A., Morera, J., Ferreira, P., León, J. y Pérez J. 1999. Diversidad genética de la colección de zapote [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn]. del CATIE. Plant Gen. Res. Newsl. 117:37-42.
- Gennadios, A., Weller, C. L., & Gooding, C. H. 1994. Measurements errors in water vapour permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. Journal of Food Engineering, 21: 395-409.
- Girard, M.S., Turgeon S.L., Paquin, P. 2002. Emulsifying properties of whey protein-carboxymethylcellulosa complexes. Journal of Food Science 67: 113-116.
- Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., Oromiehie, A., & Saeid-Yarmand, M. (2011). Characterization of edible emulsified films with low affinity to water based on kefir and oleic acid. International Journal of Biological Macromolecules, 49(3): 378-384
- Gómez, J.R., Nieto, A.D., Teliz, O.D., Mora, A.J.A., Nava, D.C., Martínez, D.M.T., Vargas, H.M. 2012. Manejo postcosecha de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) y su impacto en la calidad de la fruta. Rev. Chapingo S. Hort. 18 (2):253-262.
- González, L. J., Martínez, C.R.L., 1998. Manejo postcosecha de mamey (*Pouteria sapota*) en México. Primer Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. ACTAS. Hermosillo, Sonora, México.
- Grant D.L. 2005. Candelilla wax, first draft. WHO food additive series 30, <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v30je12>
- Guilbert, S., Gontard, N., Gorris, L.G.M. 1996. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. LWT-Food Science and Technology 29: 10-17.
- Han, J. H., Seo, G. H., Park, I. M., Kim, G. N., & Lee, D. S. 2006. Physical and mechanical properties of pea starch edible films containing beeswax emulsions. Journal of Food Science, 71: 290-296.
- Hayati, I.N., Bin C.M.Y., Ping, T.C., Nor., A.I. 2009, Droplet Characterization and stability of soybean oil/palm kernel olein O/W emulsions with the presence of selected polysaccharides. Food Hydrocolloids 23: 233-243.
- Horwitz W. 1980. Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 13th ed. AOAC. Washington, USA. pp: 515-518.

- Idris, O.H.M., Williams, P.A., & Phillips G.O. 1998. Characterisation of gum from *Acacia senegal* trees of different age and location using multidetection gel permeation chromatography. *Food Hydrocolloids* 12: 379-388.
- Imeson, A. 1992. Exudate gums. In: Imeson, A. *Thickening and gelling agents for food*. Chapman and Hall, London, pp 66-97.
- Instituto de la candelilla. 2004 *Propiedades fisicoquímicas de la cera e candelilla*. Consultado en línea en: [http:// www.candelilla.org/es/propiedades.htm](http://www.candelilla.org/es/propiedades.htm)
- Jiang, T., Feng, L., Zheng, X., Li, J. 2103. Physicochemical responses and microbial characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) to gum arabic coating enriched with natamycin during storage. *Food Chemistry* 138: 1992-1997.
- Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. 2010. Effect of lipid self-association on the microstructure and physical properties of hydroxypropylmethylcellulose edible films containing fatty acids. *Carbohydrate Polymers*, 82: 585-593
- Kader A.A. 2002. Postharvest biology and technology: an overview. *In: Postharvest Technology of Horticultural Crops*. A A Kader (ed). University of California. California, USA. pp: 39-47.
- Kader, A. A., Saltveit, M.E. 2003. Respiration and gas exchange. *In* J.A. Bartz & J. K. Brecht (Eds.), *Postharvest physiology and pathology of vegetables* (pp. 7–29). Gainesville: University of Florida.
- Kader, A.A. 2005. Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. *Acta Hort.* (682): 2169-2175.
- Krochta, J.M., Baldwin, E.A., Nisperos C.M. 1994. *Edible coatings and films to improve food quality*. Taylor & Francis, London, UK, 392 p.
- Krochta J.M., De Mulder-Johnston C. 1997. Edible films and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Tech.* 51 (2): 61-74.
- Kester, J. J., Fennema, O. 1986. Edible films and coatings. *Food Technology* 40 (1): 47-59.
- Kim, S. J., Ustunol, Z. 2001. Sensory Attributes of Whey Protein Isolate and Candelilla Wax Emulsion Edible Films. *JFS: Sensory and Nutritive Qualities of Food* 66: 909-911.
- Lacroix, M., Le Tien, C. 2005. *Edible films and coatings from non-starch polysaccharides*. *In: Innovations in Food Packaging*. Han, J.H., (ed). Elsevier Academic Press, London, UK, pp 338-361.

- Leng, X.J., Turgeon, S.L. 2007. Study of the shear effects on the mixture of whey protein/polysaccharides—2: Application of flow models in the study of the shear effects on WPI/polysaccharide system *Food Hydrocolloids* 21: 1014–1021
- Li, X., Fang, Y., Al-Assaf, S., Phillips, G. O., Nishinari, K., & Zhang, H. 2009. Rheological study of gum arabic solutions: interpretation based on molecular self-association. *Food Hydrocolloids*, 23(8): 2394-2402.
- Lim, L.T., Mine, Y., Britt, I.J., Tung, M.A. 2002. Formation and properties of egg white protein films and coatings. *In: Protein based films and coatings*. Gennadios, A., (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida, pp 233-252.
- Lim, T.K. 2013. *Pouteria sapota*. *In: Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*. Volume 6, Fruits. Lim, T.K. (ed). Springer, Heidelberg, Germany. pp 138-142. DOI 10.1007/978-94-007-5628-1
- Lin, D., Zhao, Y. 2007. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 6: 60-75.
- Mali, S., Grossmann, M.V., 2003. Effects of yam starch films on storability and quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51 (24): 7005–7011.
- Mason, T.G. 1999. New fundamental concepts in emulsion rheology. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 4: 231-238.
- Mangaraj, S., Goswami, T.K., Mahajan, P.V. 2009. Applications of plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: a Review. *Food Eng Rev* 1:133–158
- Manzano, E.J. 2001. Caracterización de algunos parámetros de calidad en frutos de zapote mamey (*Calocarpum sapota* (Jacq.) Merr.) en diferentes condiciones de almacenamiento. *Proceeding of the Interamerican Society of Tropical Horticulture* 43: 53-56
- Maqbool, M., Ali, A., Alderson, P.G., Zahid, N., Siddiqui, Y., 2011a. Effect of a novel edible composite coating based on gum arabic and chitosan on biochemical and physiological responses of banana fruits during cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59, 5474–5482.

- Maqbool, M., Ali, A., Alderson P.G., Mohamed, M.T.M., Siddiqui, Y., Zahid N. 2011b. Postharvest application of gum arabic and essential oils for controlling anthracnose and quality of banana and papaya during cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 62: 71-76.
- Martínez, M.A., Alia, T.I., Colinas, L.M.T, Martínez, D.M.T. 2004. Storage of zapote mamey fruit under controlled atmosphere. *HortScience* 39 (4):806.
- Martínez, M. A., Alia, T.I, Colinas, L.M.T. 2006. Refrigeración de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) cosechados en diferentes fechas en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (Número Especial 2): 51-57.
- Martínez, M.A., Alia, T.I, Valle, G.S., Colinas, L.M.T., López, M.V., Bautista-B.S., Rodríguez, M.A., Villegas, T.O.G., Guillén, S.D. 2008. Comportamiento de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) en dos atmósferas con bajo O₂ y moderado CO₂. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(Número Especial 3): 53–59.
- Martínez, R.D., Albuquerque, N., Valverde, J.M., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D., Serrano, M. 2006. Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology* 39: 92-100.
- McClements, D. J. 2004. Protein-stabilized emulsions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9: 305-313.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *Hortscience* 27: 1254-1255.
- McHugh, T.H. 2000. Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Nahrung* 44: 148-151.
- Mexis S.F., Badeka A.V., Riganakos K.A., Karastosas K.X., Kontominas M.G. 2009. Effect of packaging and storage conditions on quality of shelled walnuts. *Food Control* 20: 743-751.
- Mendoza, W.A.M., Báez, S.R. (2000). Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. *Hort. Mex.* 8(2): 158-163.
- Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M., Voilley, A. 2002. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutrition* 42 (1):67-89.
- Mothè, C. G., Rao, M. A. 1999. Rheological behavior of aqueous dispersions of cashew gum and gum arabic: effect of concentration and blending. *Food Hydrocolloids* 13: 501-506.

- Motlagh, S., Ravines, P., Karamallah, K.A., Ma, Q. 2006. The analysis of Acacia gums using electrophoresis. *Food Hydrocolloids* 20: 848-854.
- Nieto, A. E., Alia, T. I., López, M. V., Andrade, R. M., Villegas, T. O. G., Guillen, S. D., Acosta, D. C. M., Álvarez, V. J. E., Villarreal, F. J. M., Ariza, F. R. 2010. Sapotaceas de Morelos. *In: Memorias Primer Simposio de Sapotaceas*. Cituk Ch. D. E., L. Latouraciric A.R. Lara M. Conkal, Yucatan. pp 53, 54.
- Okezie B.O. 1998. World food security: the role of postharvest technology. *Food Technology* 52(1): 64-69.
- Olivas, G.I., Barbosa, C.G. 2009. Edible Films and Coatings for Fruits and Vegetables. *In: Edible Films and Coatings for Food Applications*. Embuscado, M.E., Huber K.C. (eds.). Springer Science, New York, NY, USA, pp 211-244.
- Oms, O.G., Soliva, F.R., Martin, B.O. 2008. Using polysaccharide-based coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *LWT- Food Science and Technology* 41: 1862-1870.
- Pachuqueño, C.E., Alia, T.I., Pérez, A.G.A., Andrade, R.M., Valle, G. S., Bautista, B.S., Martínez, M.A., Villarreal, F.J.M., Pérez, Q.J.N. 2010. Atmosferas modificadas y refrigeración en frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn]. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 2 (1): 21-27.
- Pavlat A.E., Orts W., 2009. Edible Films and Coatings: Why, What, and How? *In: Edible Films and Coatings for Food Applications*. Embuscado M.E., Huber K.C. (Eds.). Springer, NY, USA. pp 1-23.
- Pal, R. 2011. Rheology of simple and multiple emulsions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 16: 41-60.
- Pereda, M., Amica, G., Marcovich, N. 2012. Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films. *Carbohydrate Polymers*, 87(2): 1318-1325.
- Pérez, T.G.O., Vargas, A.I., Díaz, P.J.C., Téllez, M. M.A. 1999. Actividad de la polifenoloxidas y peroxidasa en frutos de mamey sapote (*Pouteria sapota*) Rev. Iberoamericana de Tecnología Poscosecha 1: 120-125.
- Pérez, G. M., Krochta, J. 2001. Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 996-1002.

- Pérez, L.A., Villaseñor, P. C. A., Cano, V.A., Rangel, F. D. M., Alia, T.I., Colinas, L. M. T. 2009. Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn] bajo compresión. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 1: 119-125.
- Pesis, E. 2005. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Postharvest Biology and Technology* 37: 1-19.
- Petersson, M., Stading, M. 2005. Water vapour permeability and mechanical properties of mixed starch-monoglyceride films an effect on film forming conditions. *Food Hydrocolloids*, 19: 123-132.
- Phan T. D., Debeaufort, F., Voilley, A., Luu, D. 2009. Influence of hydrocolloid nature on the structure and functional properties of emulsified edible films. *Food Hydrocolloids*, 23: 691-699.
- Podd, L.A., Van Staden, J. 1998. The role of etanol and acetaldehyde in flower senescence and fruit. *Plant Growth Reg* 2: 183-189.
- Rao, M. A. 1999. *Rheology of Fluid and Semisolid Foods*, Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland, EUA, 441 p.
- Ramos, G.M.G., Bautista, B.S., Barrera, N.L. L., Bosquez, M.E., Alia, T.I., Estrada, C.M. 2010. Compuestos antimicrobianos adicionados en Recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología* 28 (1): 44-57.
- Ramos, R.X., Alia, T.I, Valle, G.S., Víctor L.M., Colinas L.M.T., 2005. Efecto del almacenamiento de películas plásticas en la maduración de zapote mamey (*Pouteria sapota*) In: Resúmenes VIII Cong. Nal. Agr. Dep. Fitotecnia . Chapingo, Mex. México, Abril 27-28, 2005.
- Ramos, R.F. X., Alia, T.I., López, M.V. 2009. Almacenamientos de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacquin) H. R. Moore & Stearn] en Atmosferas Modificadas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(1): 17-23.
- Randall R.C., Phillips G.O., and Williams P.A., 1989. Fractionation and characterization of gum from *Acacia Senegal*. *Food Hydrocolloids* 2: 65-75.
- Rao, M. A. 1999. *Rheology of Fluid and Semisolid Foods*, Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland, EUA, 441 p.

- Ray, A.K., Bird, P.B., Iacobucci, G.A., Clark, B.C. 1995. Functionality of gum arabic. Fractionation, characterization and evaluation of gum fractions in citrus oil emulsions and model beverages. *Food Hydrocolloids* 9:123-131.
- Renard D., Lavenant, G.L., Ralet M.C., and Sanchez C. 2006. *Acacia senegal* gum: continuum of molecular species differing by their protein to sugar ratio, molecular weight and charges. *Biomacromolecules* 7: 2637- 2649.
- Robins, M.M., Watson, A.D., Wilde, P.J. 2002. Emulsions-creaming and rheology. Current pinion in Colloid & Interface Science 7: 419-425.
- Rojas, G.M.A., Raybaudi, M.R.M., Soliva, F.R.C., Avena, B.R.J., McHugh, T.H., Martín, B.O., 2007. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology* 45 (2): 254–264.
- Rojas, G.M.A., Soliva, F.R., Martín B.O., 2009. Edible coatings to incorporate active ingredients to freshcut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology* 20: 438-447.
- Ribeiro, C., Vicente, A.A., Teixeira, J.A., Miranda, C. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology* 44: 63–70.
- Risch S.J. 2000. New developments in packaging materials. *In*: Risch S.J. (ed). *Food Packaging. Testing Methods and Applications*. American Chemical Society. Washington, DC, USA. pp. 1-7.
- Romojaro F., Riquelme F., Pretel M.T., Martínez G., Serrano M., Martínez C., Lozano P., Segura P., Luna P.A. 1996. Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas. Ediciones Mundi Prensa. Primera edición. Madrid, España. pp. 63-88.
- SAS Institute Inc. (2010). SAS/STAT® user's guide. Version 9.02. Cary, NC. USA: SAS Institute Inc.
- Sebti, I., Chollet, E., Degraeve, P., Noel, C., Peyrol, E. 2007. Water sensitivity, antimicrobial, and physicochemical analyses of edible films based on HPMC and/or chitosan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 693-699.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA). 2013. Base de datos electrónica. Consultada en: <http://www.sagarpa.gob.mx>

- Sadiku, A.O., Rotimi. E., Sadiku A., Biotidara, A. 2011. Rheological Properties of Polymers: Structure and Morphology of Molten Polymer Blends. Materials Sciences and Applications 2: 30-41.
- Salcedo, J.G., 1985. Propagación vegetativa del mamey, Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- Salvador, M.L., Jaime, P., Oria, R. 2002. Modeling of O₂ and CO₂ Exchange Dynamics in Modified Atmosphere Packaging of Burlat –Cherries. J Food Science: Food Engineering and Physical Properties, 67 (1): 231-235.
- Sánchez C., Renard D., Robert P., Schmitt C., and Lefebvre J., 2002. Structure and rheological properties of acacia gum dispersions. Food Hydrocolloids, 16: 257-267.
- Sánchez, G. L., Vargas, M., González, M. C., Chiralt, A., Cháfer, M. 2009. Characterization of edible films base don hydroxypropylmethylcellulose and tea tree essential oil. Food Hydrocolloids, 23: 2102-2109.
- Saucedo P.S., Jasso C.D., Ventura S.J., Sáenz G.A., Rodríguez H.R., & Aguilar C.N. 2007. Effect of Candelilla wax with natural antioxidants on shelf life quality of cut fresh fruits. Journal of Food Quality, 30: 823-836.
- Saucedo, P.S., Rojas, M.R., Aguilera, C.A.F., Saenz, G.A., de la Garza, H., Jasso, C.D., Aguilar, C.N. 2009. Edible films based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. Food Research International 42: 511-515.
- Sauri, E., Tamayo, E., Díaz, J., García, K., Vargas, L., González, S. Y Centurion, A. 2007. Calidad y vida útil de dos cultivares de mamey (*Pouteria sapota*) cosechados en Yucatán, México. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones.
- Seydim, A. C., Sarikus, G. 2006. Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. Food Research International 39: 639-644.
- SIACON, Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. 2012. http://www.siap.sagarpa.gob_mx :8080/siapp-apb/ (1de noviembre de 2013).
- Siracusa V., Roculi P., Romani S., Rosa M.D., 2008. Biodegradable polymers for Food packaging: a review. Trends in Food Science and Technology 19: 634-643.
- Sorrentino, A., Gorrasi, G., & Vittoria, V. 2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. Trends in Food Science & Technology, 18: 84-95.

- Sothornvit, R., Krochta, J.M. 2001. Plasticizer effect on mechanical properties of betalactoglobulina films. *Journal of Food Engineering* 50: 149-155.
- Steffe, J.F. 1996. *Rheological methods in food process engineering* (second edition), Freeman Press, East Lansing, MI, EUA. 418 p.
- Stern, S.A. 1979. Gas permeation processes. *In*: Lacey R.E. and L. Sidney (ed), New York: Robert E. Krieger Publishing Company. pp. 1-35.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2010. Secondary metabolites and Plant Defense, *In*: *Plant Physiology*, Fifth Edition Ed. Sinauer Associates, Inc, pp 290 – 297.
- Tanada, P.P.S., Grosso, C.R., 2005. Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology* 36 (2), 199–208.
- Tanaka, S., Fang, Y., Nishinari, K. (2006). Anomalous rheological behaviour of gum Arabic solution. *Foods and Food Ingredients Journal of Japan*, 211, 216–221
- Tapia, B. D., Mauri, A. N., Menegalli, F. C., Sobral, P. J. A., Añón, M. C. 2007. Contribution of starch, protein and lipid fractions to the physical, thermal and structural properties of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour films. *Journal of Food Science*, 72: 293-300.
- Tcholakova, S., Denkov, N. D., Ivanov, I. B., Campbell, B. 2006. Coalescence stability of emulsions containing globular milk proteins. *Advances in Colloid and Interface Science*, 123: 259-293.
- Thompson, D. S., Markoski, L. J., Moore, J. S., Sendjarevic, I., Lee, A., McHugh, A. J. 2000. Synthesis and characterization of hyperbranched aromatic poly(etherimide)s with varying degrees of branching. *Macromolecules* 33: 6412–6415.
- Thompson, A. K. 2003. *Fruit and Vegetables Harvesting, Handling and Storage*. Blackwell Publishing. Oxford, U.K. 460 p.
- Toral, J.O., 1988. El cultivo de mamey (*Calocarpum sapota*). Tesis de maestría. Escuela Nacional de Fruticultura, Xalapa, Veracruz, Mexico.
- Toro V.J.F., Morales R.J.A., Didilbox A.E., Charó A.M., Alonzo M.M., & González C.M.M. 2007. Thermal and textural properties of organogels developed by candelilla wax in safflower oil. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 84 (11): 989-1000.

- Torres, R. A., Salinas, M. Y., Valle, G. S., Alia, T. I. 2011. Soluble phenols and antioxidant activity in mamey sapote (*Pouteria sapota*) fruits in postharvest. Food Research International 44: 1956–1961
- Tzoumaki, M.V., Biliaderis, C., Vasilakakis, M. 2009. Impact of edible coatings and packaging on quality of white asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) during cold storage. Food Chemistry 117 (1): 55-63.
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA). 2013a. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 26. Nutrient Data Laboratory. Home Page: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2399>
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA). 2013b. USDA National Resources Conservation Service. Plant Databasey. Home Page: <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=POSA13>
- Valenzuela, C., Abugoch, L., Tapia, C. 2013. Quinoa protein-chitosan-sunflower oil edible film: Mechanical, barrier and structural properties. LWT-Food Science and Technology 50: 531-537.
- Valle, G.S., Saucedo, V.C., Peña, V. C.B., Corrales, G.J.J.E., Chávez, F.S.H., Espinosa, S.T. 2002. Skin permeance and internal gas composition in ‘Hass’ avocado (*Persea americana* Mill.) fruits. Food Science and Technology International 8: 365-373.
- Valle, G.S., López, R.O., Reyes, V.M., J. Castillo, M.J., Santos M.A. 2008. Recubrimiento comestible basado en goma arábica y carboximetilcelulosa para conservar frutas en atmósfera modificada. Revista Chapingo Serie Horticultura 14 (3): 235-241.
- Valero, D., Serrano, M. 2010. Postharvest Biology and Technology for preserving fruit quality, CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, Fl, EUA. 269p.
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., González, M.C. 2009. Characterization of chitosan-oleic acid composite films. Food Hydrocolloids 23: 536-547.
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V.D., Moldão, M. M. (in press). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. LWT-Food Science and Technology (2013). doi:10.1016/j.lwt.2013.02.004.

- Villanueva, A.R., Evangelista, L.S., Arenas, O. M.L., Díaz, P.J.C., Bautista, B. S., 2000. Cambios bioquímicos y físicos durante el desarrollo y postcosecha del mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn. Rev. Chapingo Serie Horticultura 6: 63–72.
- Weinbreck, F., Wientjes, R. H. W., Nieuwenhuijse, H., Robijn, G. W., de Kruif, C. G. 2004. Rheological properties of whey protein/gum arabic coacervates. Journal of Rheology 48(6): 1215-1228.
- Williams, P.A., and Phillips, G.O. 2000. Arabic gum. In: Handbook of hydrocolloids vol. 9. Phillips, G.O., Williams, P.A. (Eds). Woodhead, Cambridge, UK, pp 155-168.
- Yahia, E. M. 2008. The Role of Postharvest Technology in Improving Nutrition and Promoting National Development in Developing Countries: Constraints and Challenges. In: Using Food Science and Technology to Improve Nutrition and Promote National Development. Robertson, G.L. & Lupien, J.R. (Eds.), International Union of Food Science & Technology, Oakville, Ontario, Canada.
- Yahia, E. M., Gutiérrez, O. F., Arvizu, L. C 2011. Phytochemical and antioxidant characterization of mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) fruit. Food Research International 44: 2175-2181.
- Yaman, O., Bayoindirli, L. 2002. Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. Lebensm. – Wiss. Und. Technology 35: 146-150.
- Zuckerman, H., Harren, F.J.M., Reuss, J., Parker, D.H. 1997. Dynamics of acetaldehyde production during anoxia and post-anoxia in red bell pepper studied by photoacoustic techniques. Plant Physiology 113: 925-932.