



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS VERACRUZ**

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**CARACTERIZACIÓN DE RECUBRIMIENTOS A BASE DE QUITOSANO-ÁCIDO  
ELÁGICO Y SU APLICACIÓN EN ETAPA POSTCOSECHA EN MANGO MANILA**

**LORENA GUADALUPE RAMÓN CANUL**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**DOCTORA EN CIENCIAS**

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ

2017

La presente tesis, titulada: **Caracterización de recubrimientos a base de quitosano-ácido elálgico y su aplicación en etapa postcosecha en mango Manila**, realizada por la alumna: Lorena Guadalupe Ramón Canul, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

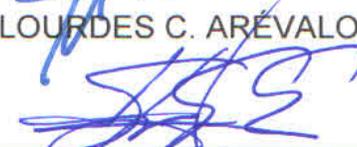
CONSEJERA:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. ALEJANDRA SOTO ESTRADA

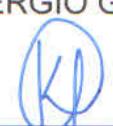
ASESORA:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. MA. DE LOURDES C. AREVALO GALARZA

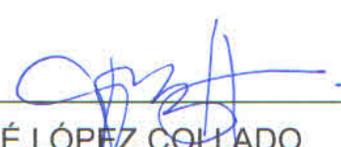
ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. HUGO SERGIO GARCÍA GALINDO

ASESORA:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. KATIA ANGÉLICA FIGUEROA RODRÍGUEZ

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ LÓPEZ COLLADO

ASESOR:

\_\_\_\_\_  
DR. CATARINO ÁVILA RESENDIZ†  
(Q.E.P.D, 1959-2017)

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, 25 de octubre de 2017

# CARACTERIZACIÓN DE RECUBRIMIENTOS A BASE DE QUITOSANO-ÁCIDO ELÁGICO Y SU APLICACIÓN EN ETAPA POSTCOSECHA EN MANGO MANILA

Lorena Guadalupe Ramón Canul, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2017

Durante la primera fase de este trabajo se evaluó la competitividad en el comercio internacional de frutos de mango. Los resultados con base en las estadísticas disponibles mostraron que el mango procedente de México ha disminuido en un 24% su participación en el mercado mundial; sin embargo, sigue siendo el líder en la exportación de mango a Estados Unidos. Aunque el fruto de mango es atractivo por su sabor, aroma y color atractivo, su vida de anaquel es corta, por lo que estudios referentes a prolongar su vida postcosecha son pertinentes. Por lo anterior en el presente estudio se desarrolló un recubrimiento comestible a base de quitosano adicionado con ácido elágico para alargar la vida de anaquel del mango 'Manila'. Para ello se determinó el efecto del ácido elágico sobre el crecimiento micelial (evaluación *in vitro*), encontrándose que concentraciones 0.3, 0.5 y 0.7%, de este compuesto inhibió el crecimiento, con relación al 0.1% que tuvo la menor eficiencia. Con base en estos resultados las concentraciones utilizadas en la elaboración de los recubrimientos fueron de: 0.3, 0.5 y 0.7%, resultando que las concentraciones de 0.3 y 0.5 % presentaron las mejores propiedades ópticas, de barrera y mecánicas. Durante la evaluación *in vivo* los resultados mostraron que el recubrimiento a base de quitosano con ácido elágico al 0.3% mantuvo las características físicas y bioquímicas del mango 'Manila'.

Palabras clave: *Colletotrichum gloeosporioides*, permeabilidad, microestructura, color.

CHARACTERIZATION OF EDIBLE COATINGS BASED ON CHITOSAN-ELAGIC ACID  
AND ITS APPLICATION IN POST-HARVEST STAGE IN MANILA MANGO

Lorena Guadalupe Ramón Canul, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2017

During the first phase of this work, competitiveness in international trade in mango fruits was evaluated. The results based on the available statistics showed that mango from Mexico has decreased its participation in the world market by 24%; however, it remains the leader in the export of mango to the United States. Although the mango fruit is attractive for its flavor, aroma and color, its shelf life is short, so that studies related to prolonging its post-harvest life are relevant. Therefore, in the present study an edible coating based on chitosan added with ellagic acid was developed to lengthen the shelf life of mango 'Manila'. For this, the effect of ellagic acid on mycelial growth was determined (*in vitro* evaluation), finding that 0.3, 0.5 and 0.7% concentrations of this compound inhibited growth, compared to 0.1% that had the lowest efficiency. Based on these results, the concentrations used in the preparation of the coatings were 0.3, 0.5 and 0.7%, resulting that the concentrations of 0.3 and 0.5% presented the best optical, barrier and mechanical properties. During the *in vitro* evaluation, the results showed that the coating based on chitosan with ellagic acid at 0.3% maintained the physical and biochemical characteristics of 'Manila' mango.

Keywords: *Colletotrichum gloeosporioides*, permeability, microstructure, color.

## DEDICATORIA

A Dios por ser mi luz y guía.

A mis padres ya que sin su ayuda no habría podido llegar hasta donde ahora me encuentro, gracias por su amor y apoyo incondicional.

A mis abuelitos, gracias por todo su inmenso amor.

A mi hermanita Fati por todo su amor y apoyo.

A mi sobrino Juan Alberto con todo mi amor.

A Emmanuel gracias por el cariño, los consejos y apoyo incondicional.

A mi canelita y puchi con todo mi amor.

A todos mis amigos por siempre estar conmigo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento económico proporcionado para llevar a cabo mis estudios de doctorado.

Al Colegio de Postgraduados campus Veracruz, por contribuir en mi formación profesional.

A la Dra. Alejandra Soto Estrada, por haberme conducido de manera paciente y responsable durante este tiempo, esclareciendo todas mis dudas con sus acertados consejos. Mi más sincero agradecimiento.

A la Dra. Ma. de Lourdes Arévalo Galarza por sus acertadas revisiones y asesorías, las cuales me brindan una gran experiencia de aprendizaje. Además, gracias por el apoyo otorgado para la realización de esta tesis.

Al Dr. Hugo S. García Galindo por las aportaciones y el gran apoyo otorgado a la investigación.

Al Dr. José López Collado por la orientación y ayuda que me brindo para la realización de esta tesis.

A la Dra. Katia A. Figueroa Rodríguez por las aportaciones y asesorías en el estudio de competitividad de la comercialización del mango.

Al Dr. Catarino Ávila Reséndiz (q.e.p.d.), por sus acertadas aportaciones para la realización de esta tesis. Gracias por toda la enseñanza y aprendizaje durante mis estudios de postgrado.

A todos los profesores del Colegio de Postgraduados campus Veracruz por todo el aprendizaje adquirido durante mis estudios de doctorado.

A la M en C. Natalia Real Luna por todo su apoyo durante mi estancia en el laboratorio de ciencia de los alimentos del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba.

## CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
1. Planteamiento del problema.....	3
2. Hipótesis.....	4
3. Objetivos.....	5
4. Revisión de literatura.....	6
4.1 El estudio dentro del contexto del agroecosistema.....	6
4.2 El cultivo del mango ( <i>Mangifera indica</i> L.).....	8
4.2.1 Origen y distribución.....	8
4.2.2 Propiedades nutricionales y composición química.....	9
4.2.3 Producción mundial.....	11
4.2.4 Producción nacional y estatal.....	12
4.2.5 Factores que influyen en la calidad del mango.....	13
4.2.6 Tecnologías utilizadas para alargar la vida de anaquel del mango..	14
4.3 Recubrimientos comestibles.....	15
4.3.1 Importancia y función.....	15
4.4 Materiales y propiedades de los recubrimientos.....	17
4.5 Recubrimientos a base de quitosano.....	21
5. Literatura citada.....	22
<b>CAPITULO I. COMPETITIVIDAD EN LA COMERCIALIZACIÓN DE MANGO (<i>Mangifera indica</i> L.) DE MÉXICO</b> .....	31
1.1 Resumen.....	31
1.2 Abstract.....	32
1.3 Introducción.....	33
1.4 Materiales y métodos.....	34
1.5 Resultados y discusiones.....	38
1.6 Conclusiones.....	43
1.7 Literatura citada.....	44
<b>CAPITULO II. ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DEL ÁCIDO ELÁGICO SOBRE <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Y SU APLICACIÓN EN RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES</b> .....	47
2.1 Resumen.....	47
2.2 Abstract.....	48
2.3 Introducción.....	49
2.4 Materiales y métodos.....	51
2.5 Resultados y discusiones.....	58
2.6 Conclusiones.....	64
2.7 Literatura citada.....	65

<b>CAPITULO III. DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES DE QUITOSANO-ÁCIDO ELÁGICO Y SU APLICACIÓN EN MANGO MANILA.....</b>	<b>69</b>
3.1 Resumen.....	69
3.2 Abstract.....	70
3.3 Introducción.....	71
3.4 Materiales y métodos.....	73
3.5 Resultados y discusiones.....	82
3.6 Conclusiones.....	98
3.7 Literatura citada.....	99
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....</b>	<b>106</b>
1. Conclusiones.....	106
2. Recomendaciones.....	108

## LISTA DE CUADROS

		<b>Página</b>
Cuadro 1.	Composición química del mango por cada 100 gramos.....	10
Cuadro 1.1	Participación de los principales países productores de mango en el mercado mundial de exportaciones.....	38
Cuadro 1.2	Participación de México y Brasil en el mercado de las importaciones estadounidenses de mango.....	39
Cuadro 1.3	Tasa de penetración de las importaciones de mango durante el periodo de 1993-2013.....	41
Cuadro 1.4	Coefficiente de ventaja comparativa revelada de las exportaciones de mango.....	42
Cuadro 1.5	Producción expuesta a la competencia por país en el periodo de 1993-2013.....	42
Cuadro 2.1	Efecto de las concentraciones de ácido elálgico sobre el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (ICM), inhibición de la germinación (IG) e inhibición de la esporulación (IE) de <i>C. gloeosporioides</i> .....	60
Cuadro 2.2	Efecto de los recubrimientos en el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (ICM) y la inhibición de la germinación (IG) de <i>C. gloeosporioides</i> .....	62
Cuadro 3.1	Tratamientos utilizados para los recubrimientos comestibles a 13 y 25 °C.....	78
Cuadro 3.2	Propiedades ópticas de las películas de quitosano-ácido elálgico.....	82
Cuadro 3.3	Propiedades de barrera de las películas de quitosano-ácido elálgico.....	84
Cuadro 3.4	Propiedades mecánicas de las películas de quitosano-ácido elálgico.....	85

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
Figura 1.	Modelo de agroecosistema mango 'Manila' .....	8
Figura 2.1	Efectividad <i>in vitro</i> del ácido elágico en el crecimiento micelial de <i>C. gloeosporioides</i> : A) Testigo, B) 0.1 %, C) 0.3 %, D) 0.5 % y F) 0.7 %.....	59
Figura 2.2	Porcentaje de severidad de la antracnosis en frutos de mango con recubrimientos de quitosano y ácido elágico.....	63
Figura 2.3	Expresión y severidad del síntoma de la antracnosis 18 días después de la inoculación en mangos con recubrimientos de quitosano y ácido elágico, vía análisis digital de imágenes.....	64
Figura 3.1	Microscopia electrónica de barrido de la superficie y sección transversal de las películas de quitosano-ácido elágico a: Película de quitosano; b: QAE3 (quitosano con ácido elágico al 0.3%); c: QAE5 (quitosano con ácido elágico al 0.5%); d: QAE7 (quitosano con ácido elágico al 0.7%) (20 KV, 1000x).....	86
Figura 3.2	Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elágico en la pérdida de peso del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( <i>n</i> = 3).....	88
Figura 3.3	Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elágico en la firmeza del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( <i>n</i> = 3).....	89
Figura 3.4	Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elágico en el color (matiz H°) del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( <i>n</i> = 3).....	90
Figura 3.5	Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elágico en los sólidos solubles totales del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( <i>n</i> = 3).....	91
Figura 3.6	Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elágico en el porcentaje de acidez titulable del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( <i>n</i> = 3).....	92
Figura 3.7	Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elágico en el pH del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( <i>n</i> = 3).....	93

Figura 3.8	Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elágico en la velocidad de respiración del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( $n = 3$ ).....	95
Figura 3.9	Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elágico en la producción de etileno del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( $n = 3$ ).....	96
Figura 3.10	Severidad de la antracnosis en frutos de mango con diferentes tratamientos de recubrimientos de quitosano y ácido elágico almacenados a 13 °C.....	97

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales más importantes en el mundo en términos de producción y aceptación para su consumo (Kim *et al.*, 2007; Ulloa *et al.*, 2009). Las características que influyen en la aceptación de la fruta son el color atractivo, buen sabor y alto contenido de compuestos bioactivos (ácido ascórbico,  $\beta$ -carotenos y compuestos fenólicos) (Machado y Schieber, 2010). Estos últimos son antioxidantes excelentes; por lo que su consumo diario en la dieta está relacionado con la prevención de procesos degenerativos como enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Machado y Schieber, 2010; Palafox *et al.*, 2012). Sin embargo, este fruto es altamente perecedero y susceptible al deterioro causado por desórdenes fisiológicos y patológicos en la etapa pre y postcosecha, lo cual limita su comercialización (Acosta *et al.*, 2000; Pornchan *et al.*, 2016).

Existen diversos tratamientos postcosecha para mejorar la calidad del mango y alargar su vida de anaquel, entre los que destaca las películas comestibles. En los últimos años, las investigaciones se han centrado en películas comestibles a base de polímeros biodegradables (Bautista-Rosales *et al.*, 2013; Zhou *et al.*, 2016), debido a que los consumidores exigen un menor uso de productos químicos en las frutas y hortalizas (NOM-EM-034-FITO-2000; CICOPLAFEST, 2017). Entre los polímeros más utilizados para elaborar películas están los derivados de celulosa, las ceras, el alginato, los ácidos grasos, el agar, los acil-gliceroles, el almidón y el quitosano (Bosquez-Molina *et al.*, 2003; Kokoszka *et al.*, 2010; Moreira *et al.*, 2011; Sánchez-González *et al.*, 2011). Las películas elaboradas con quitosano son elásticas y transparentes, y con buenas propiedades mecánicas y de barrera selectiva para el intercambio de gases

(Mattiuz *et al.*, 2015); además presentan actividad antimicrobiana contra diversos microorganismos (Perdones *et al.*, 2014; Jovanovic *et al.*, 2016). No obstante, la actividad antifúngica del quitosano es limitada a microorganismos en ciertos productos alimenticios. Para mejorar la eficacia de películas de quitosano en contra de diversos microorganismos, se han incorporado sustancias de origen natural como aceites esenciales, ácidos orgánicos y sus sales, compuestos fenólicos, entre otros; esto con la finalidad de extender la vida de anaquel del alimento (Falguera *et al.*, 2011; Sánchez-Domínguez *et al.*, 2007).

Por lo anterior, en esta investigación, se caracterizaron y evaluaron recubrimientos a base de quitosano con ácido elálgico con el objetivo de prolongar la vida de anaquel, reducir la incidencia de antracnosis y mejorar las características de calidad del mango 'Manila'. Los resultados de esta investigación se exponen en el presente documento estructurado en cinco secciones. La primera sección incluye el planteamiento del problema, las hipótesis, los objetivos y una revisión de literatura. La segunda incluye un análisis comparativo de la competitividad entre México, Brasil e India, además de estudiar la competitividad de México y Brasil como principales proveedores de mango del mercado estadounidense. La tercera sección trata sobre la evaluación del efecto del ácido elálgico y de las películas de quitosano-ácido elálgico, sobre el crecimiento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* y la efectividad de las películas en el mango variedad 'Manila'. En la cuarta se realiza una caracterización de las propiedades ópticas, microestructurales, de barrera y mecánicas de las películas y su aplicación en mango 'Manila' con la finalidad de evaluar su efecto en las características físicas y bioquímicas. Finalmente, las conclusiones generales se integran en la quinta sección.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los cultivos tropicales más importantes en el mundo en términos de producción y comercialización (Machado y Shieber, 2010). En México, el estado de Veracruz es una de las entidades con mayor número de productores de mango que cuenta con una superficie sembrada de 193,342 hectáreas (SIAP, 2017b). Sin embargo, debido a que es un producto perecedero y susceptible al deterioro causado por desórdenes fisiológicos y patológicos en la etapa pre y postcosecha, su vida de anaquel es corta. Los factores de tipo fisiológicos que repercuten en la vida de anaquel destacan la madurez, el desarrollo de sabores y aromas atípicos, pérdida acelerada de peso y deshidratación, entre otros. Entre los factores patológicos destaca la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* [Penz.] Penz. y Sacc.), enfermedad que ocasiona disminución de la producción y deterioro de la calidad del fruto.

Una vida de anaquel corta limita la comercialización de la fruta; por lo tanto, el productor no puede competir con el mercado interno y externo, provocando pérdidas económicas. Por lo anterior, es necesario implementar nuevas tecnologías de cosecha y manejo postcosecha para darle mayor vida de anaquel al mango. Las películas comestibles son un método de conservación y representan una opción para tal propósito ya que no se requieren de instalaciones sofisticadas, por lo que su aplicación es viable para los productores del estado de Veracruz. Por esta razón, se considera importante estudiar de manera integral el efecto de las películas en los cambios fisicoquímicos y microbiológicos en el mango 'Manila'.

## **2. HIPÓTESIS**

### **2.1 Hipótesis general**

La vida de anaquel y la reducción de la incidencia de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en mango 'Manila' dependen de la aplicación de los recubrimientos a base de quitosano y ácido elágico.

### **2.2 Hipótesis particulares**

- Las exportaciones del mango mexicano están en función de la competitividad del mercado mundial.
- El crecimiento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. depende de las diferentes concentraciones de ácido elágico.
- Los recubrimientos a base de quitosano y ácido elágico tendrán un efecto sinérgico en sus propiedades ópticas, microestructurales, de barrera, mecánicas y en el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.
- Las características físicas y bioquímicas y el daño de la antracnosis en mango 'Manila' varían en función de los recubrimientos a base de quitosano con ácido elágico.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Caracterizar y evaluar los recubrimientos a base de quitosano con ácido elágico en el alargamiento de la vida de anaquel y las características de calidad del mango 'Manila'.

#### **3.2 Objetivos particulares**

- Comparar la competitividad del mercado mundial de las exportaciones de mango entre México, Brasil e India.
- Evaluar el potencial antifúngico del ácido elágico *in vitro* sobre el crecimiento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides*.
- Caracterizar los recubrimientos en función de sus propiedades ópticas, microestructurales, de barrera, mecánicas y actividad antifúngica.
- Evaluar el efecto de los recubrimientos a base de quitosano con ácido elágico en las características físicas, bioquímicas y su potencial sobre el control de la antracnosis en el mango 'Manila'.

## **4. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **4.1 El estudio dentro del contexto del agroecosistema**

El presente trabajo de investigación se enfocó en la generación de una tecnología para alargar la vida de anaquel del mango 'Manila'. Esta tecnología se considera desde la perspectiva de un enfoque sistémico capaz de interpretar y explicar la contribución que la tecnología tendrá dentro del agroecosistema en los ámbitos socioeconómico, productivo y ecológico. Por lo tanto, surge la pregunta ¿Cuál es la conexión entre el agroecosistema y esta investigación? La respuesta se explica a continuación.

Para abordar todas las aristas de los problemas que afectan a la vida de anaquel y la calidad del mango 'Manila' en el estado de Veracruz, es importante conocer los elementos que conforman al agroecosistema; de esta manera, el agroecosistema se puede ver desde un enfoque social-productivista. Es decir, que se debe ver al agroecosistema mango (Figura 1) considerando todos sus elementos, los cuales son: entradas o insumos (semillas, fertilizantes, plaguicidas, entre otros), procesos (riego, poda, fertilización, tecnologías pre-cosecha, entre otros) y salidas (mangos de calidad). Además, como se mencionó anteriormente, este agroecosistema incluye los componentes socioeconómico (el productor y su familia, y comercializadores), ecológico (buenas prácticas de manejo, condiciones ambientales, interacciones) y el componente productivo (la huerta y la empacadora). En este último componente se sitúa esta investigación, principalmente en la empacadora, ya que en la huerta solo se producen los frutos de calidad y en la empacadora es donde se aplica la tecnología de los recubrimientos comestibles con la finalidad de mantener la calidad y alargar la vida de anaquel del mango e impactar en el componente socioeconómico, al establecer una

relación en los diferentes niveles jerárquicos de comercialización (regional, nacional e internacional).

El enfoque de agroecosistema en el cultivo del mango debe abordarse desde la perspectiva de un arreglo de componentes o un conjunto de elementos unidos o relacionados dinámicamente de tal manera que formen y actúen como una unidad, para dar al sistema mango un conjunto de ejes que funcionen sobre las propiedades del todo y no solo en lo que respecta al conocimiento de tipo teórico (Martínez-Dávila y Bustillo-García, 2010). Es por ello, que la empacadora se considera un subsistema en el manejo postcosecha del mango y se aborda desde un enfoque más amplio, donde se enfatizan los aspectos biológicos y ecológicos, al aportar una tecnología que representa una opción para ayudar a disminuir los problemas relacionados con el uso de plaguicidas para controlar patógenos. Uno de los problemas de mayor impacto es la resistencia de los patógenos debido al uso inadecuado de los plaguicidas. Otro problema es el impacto negativo que estos plaguicidas ocasionan al medio ambiente y a la salud humana. Por ejemplo, la degradación lenta de estos plaguicidas ocasiona su acumulación en el suelo afectando las interacciones bióticas; así mismo, la lixiviación de éstos contamina el agua de mantos freáticos, ríos, lagunas y mares y por ende la vida acuática. Los plaguicidas afectan directa e indirectamente la salud de las personas cuando tienen contacto con éstos. Además el agroecosistema se debe complementar en mayor o menor grado con lo que aporten los ámbitos regionales, nacionales e internacionales con el objeto de brindar nuevas normas que permitan implementar esta tecnología para exportar mango de calidad.

Con base a los planteamientos anteriores y la Teoría General de Sistemas, esta investigación es relevante, puesto que existen interacciones entre la tecnología de recubrimientos, el ser humano y el medio ambiente. Estas interacciones dan lugar al flujo de materiales y energía que a largo plazo producirán cambios en el funcionamiento del agroecosistema mango.

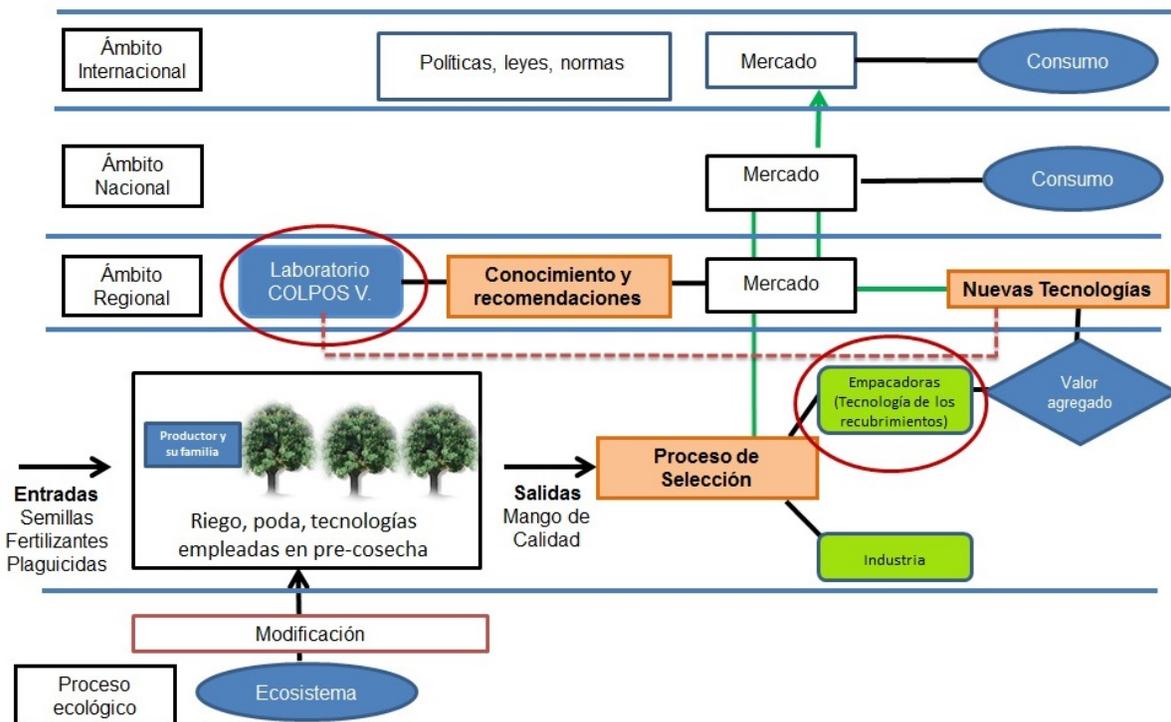


Figura 1. Modelo de agroecosistema mango 'Manila'.

## 4.2 El cultivo del mango (*Mangifera indica* L.)

### 4.2.1 Origen y distribución

El mango es originario de la región Indo-Birmánica y se cree que empezó a cultivarse hace aproximadamente 4000 años, aunque se supone que ya era conocido mucho

tiempo atrás (Mukherjee, 2009; Infante *et al.*, 2011). Es una de las frutas tropicales más finas y apreciadas por los consumidores. Es descendiente de una de las más de cuarenta especies silvestres que todavía existen en el noroeste de India, Filipinas y Papua Guinea. Casi la mitad de éstas especies producen frutas comestibles, pero ninguna igual a la finura de la especie *M. indica*, a la que algunos autores denominan el rey de los frutos (Torres, 2007; Mukherjee, 2009).

A partir de los siglos XV y XVI, el mango se distribuyó gradualmente alrededor del mundo, llegando al continente americano en el siglo XVI. En México, los españoles lo introdujeron en el siglo XVII, por medio de la ruta Nao de China desde las Islas Filipinas al Puerto de Acapulco, Guerrero, México; sin embargo, como cultivo se estableció y dispersó en la costa del golfo de México, Veracruz. En el siglo XIX, mangos de tipo criollo se trajeron de las Antillas del Golfo de México y se extendió rápidamente a todas las regiones tropicales del país (Mosqueda *et al.*, 1996; INFOAGRO, 2016).

Actualmente el mango se cultiva en casi todas las zonas tropicales y subtropicales del mundo. Alrededor de 95 países cuentan con plantaciones comerciales, produciendo 30 millones de toneladas anuales, de las cuales la mayoría de la producción es consumida internamente por los países productores y únicamente se exporta alrededor del 3% (Infante *et al.*, 2011).

#### **4.2.2 Propiedades nutricionales y composición química**

El fruto del mango es una drupa grande y carnosa, de color verdoso, amarillento o rojizo, con pesos desde los 200 g hasta los 2000 g aproximadamente y presentan un sabor dulce (Davenport, 2007; SAGARPA, 2013). Es una fruta rica en agua,

carbohidratos, fibra dietética, vitaminas y minerales (Cuadro 1). Un mango de 200 g aproximadamente proporciona alrededor 8000 UI de vitamina A y 56 mg de vitamina C, lo que representa el 60 % de las dosis diarias recomendadas para un adulto de 19-50 años de edad (Machado y Schieber, 2010; Wall-Medrano *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Composición química del mango por cada 100 gramos.

Macronutrientes (g)		Vitaminas		Minerales (mg)	
Agua	83.5	Vitamina A (UI)	4000	Ca	11
Proteína	0.8	Vitamina C (mg)	28	Fe	0.16
Grasa	0.4	Tiamina (mg)	0.03	Mg	10
Carbohidratos	15.0	Riboflavina (mg)	0.04	P	14
Fibra	1.6	Niacina (mg)	0.67	K	168
		Pirodoxina (mg)	0.12	Zn	0.09
		Folatos ( $\mu$ g)	40		
		K ( $\mu$ g)	4.2		

Fuente: Wall-Medrano *et al.* (2015)

Además, 100 g de pulpa mango aportan aproximadamente 0.67 mg de niacina, la cual es necesaria para el buen funcionamiento del sistema nervioso, la salud de la piel y el metabolismo de las grasas; mientras que la pirodoxina es importante para la síntesis de los aminoácidos y el metabolismo de las grasas, así como la salud del cabello, la piel o el equilibrio de los líquidos en el organismo (Torres, 2007; Machado y Schieber, 2010). Dentro del grupo de los minerales, el hierro aporta 0.16 mg 100 g<sup>-1</sup>, el cual ayuda a

prevenir la anemia, especialmente en personas vegetarianas, o en las mujeres durante el embarazo o la menstruación (Machado y Schieber, 2010).

El mango tiene varios ácidos orgánicos como cítrico, succínico, málico y tartárico, los cuales le confieren la acidez. Durante el proceso de maduración, dichos ácidos orgánicos disminuyen debido al aumento del contenido de azúcares en el mango (Singh *et al.*, 2013). Además de éstos, el mango contiene triptófano, un aminoácido con propiedades relajantes, que junto con las vitaminas del complejo B, propician un sueño más tranquilo; a partir de este aminoácido se produce la hormona serotonina, un neurotransmisor conocido como "hormona de la felicidad" la cual suprime los efectos de la depresión (Torres, 2007).

Entre los polifenoles que tiene la pulpa del mango se encuentra el ácido gálico, los galotaninos, la quercetina y el ácido elágico, los cuales presentan beneficios a la salud debido a su actividad antioxidante, principalmente (Singh *et al.*, 2013).

#### **4.2.3 Producción mundial**

En el 2014, la producción mundial de mango fue 45.2 millones de t La India fue el mayor productor al concentrar 18.4 millones de t, seguido de China con 4.5 millones de t, Tailandia con 3.6 millones de t, Pakistán con 1.7 millones de t, México con 1.8 millones de t y Brasil con 1.1 millones de t (FAOSTAT, 2017). Durante el periodo del 2014 al 2017 México aumentó su producción de mango en un 36%, al pasar de 1.3 a 1.8 millones de t (SAGARPA, 2017).

El ritmo de crecimiento de la producción mundial de mango (tasa media de crecimiento anualizada –TMCA-) fue de 3.8% del 2000 al 2009, la cual es mayor que la TMCA

reportada para México que fue de sólo 2.1%. China, India, Tailandia, Brasil, entre otros, reportan un crecimiento mayor al de México (Carvallo, 2011).

#### **4.2.4 Producción nacional y estatal**

En México, dentro de los cultivos perennes considerados como frutales, el mango ocupa el séptimo lugar en superficie sembrada. Representa el tercer producto de exportación, después del café y la naranja, los cuales son los principales frutales generadores de divisas. Los destinos principales para su exportación son Estados Unidos, Canadá, y en menor medida la Unión Europea y Japón (Ayala-Garay *et al.*, 2009; SAGARPA, 2013).

Los estados con mayor superficie sembrada son Chiapas, Sinaloa, Guerrero, Nayarit, Michoacán y Veracruz (SIAP, 2017a). En el año 2016, los estados que encabezaron el mayor volumen de producción fueron: Guerrero que ocupó el primer lugar, seguido de Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Michoacán con 372, 339, 311, 238 y 144 mil t respectivamente. Veracruz ocupó el octavo lugar con un volumen de producción de 111 mil t (SIAP, 2017a).

En México, las principales variedades cultivadas son: Ataulfo, Haden, Keit, Kent, Manila, Manililla, Obo, Oro, Paraíso o Petacón, Tommy Atkins y los criollos. Las variedades Ataulfo y Manila se destinan al mercado interno para su consumo en fresco, mientras que las variedades Tommy Atkins, Haden, Kent, Ataulfo y Keit se destinan a la exportación (SAGARPA, 2012). En el estado de Veracruz se siembra principalmente la variedad Manila, de la cual durante el periodo de 1990 al 2001 la producción fue de 1.6 millones de t, posicionando al estado en el primer lugar nacional. Sin embargo, de 2001

a 2009 la producción disminuyó aproximadamente un 18% (Carvallo, 2011; OEIDRUS, 2016). Para el 2016, el mango Manila tuvo una producción de 111 mil t; destacándose los municipios de Actopan con 18.8 mil t, Soledad de Doblado con 13.6 mil t y Cotaxtla con 9.7 mil t (SIAP, 2017b). Estos datos llaman la atención debido a que Veracruz es el principal productor de esta variedad; no obstante, el volumen de producción va decreciendo debido a que en el estado no todos los productores cuentan con un manejo tecnificado, lo cual se ve reflejado en los rendimientos (Mercado, 2012). Además, esta variedad no se exporta, sino que se destina a consumo nacional debido problema fitosanitarios y a la susceptibilidad de esta variedad al tratamiento hidrotérmico (Mercado, 2012).

Con referencia a los canales de comercialización del mango Manila en el estado, el 74% de la producción se comercializa mediante intermediarios; el 15% en centrales de abasto; el 9% a la agroindustria; el 1% directo al consumidor y el 1% restante se comercializa por otras vías (Sistema Producto Mango, 2012). La principal razón por la que el productor busca o accede a los intermediarios es el temor a la disminución de sus ganancias y al no vender la fruta inmediatamente ya que tiene vida de anaquel muy corta (Carvallo, 2011).

#### **4.2.5 Factores que influyen en la calidad del mango**

Las condiciones ambientales y las prácticas culturales son factores que influyen en la maduración, la calidad y la vida de anaquel del fruto. Los factores de precosecha que influyen en la calidad del mango son: edáficos, climáticos, genéticos, método de propagación, portainjerto, podas, fertilización, riego y control fitosanitario. Existen

diversos estudios que demuestran el efecto de estos factores en la calidad; por ejemplo, Huerta-Palacios (2009) correlacionaron parámetros climáticos (temperatura mínima de punto de rocío y humedad relativa mínima) con desordenes patológicos, encontrando una fuerte correlación de éstos con la incidencia de *Colletotrichum gloeosporioides* y el deterioro de la calidad del mango. Romero-Gomezcaña *et al.* (2006) evaluaron el efecto de aplicaciones foliares de calcio sobre la calidad de frutos de mango y encontraron que al incrementarse la relación K/Ca la firmeza aumenta. Además, a medida que la relación K/Ca aumenta, la relación de SST/ácidez disminuye, lo que ocasiona retraso en la maduración.

Los factores genéticos, a su vez, juegan un papel importante en la resistencia del fruto a las enfermedades y en su calidad final (Rehman *et al.*, 2015). En este sentido, existen tres genes (comp35681, comp36021, comp59876) que codifican la biosíntesis de la enzima oxidasa (Dauut-Castro *et al.*, 2015). Los genes PGs, PMEs, PLs, RGL,  $\alpha$ -GAL,  $\beta$ -GAL and  $\beta$ -glucosidasa ( $\beta$ -Glu) degradan los componentes de la pared celular y están relacionados con la pérdida de firmeza del mango (Cárdenas-Coronel *et al.*, 2012). Respecto al aroma del mango, Dauut-Castro *et al.* (2015) mencionaron que seis genes de la enzima crucrosa fosfato sintasa (EPS) son los responsables de la acumulación de azúcar en el proceso de maduración.

#### **4.2.6 Tecnologías utilizadas para alargar la vida de anaquel del mango**

Existen diversas tecnologías para alargar la vida de anaquel del mango y reducir las pérdidas económicas en la etapa postcosecha (Cáceres, 2003). El uso de bajas temperaturas se ha utilizado para alargar la vida de anaquel de esta fruta; Galvis *et al.*

(2005) observaron que cuando el mango se almacenó por 15 días a una temperatura de 7 °C, el pH no presenta un aumento significativo durante ese período; además, la acidez disminuyó (0.5 a 1.7%) conforme aumentaban los sólidos solubles totales (7 a 13 °Brix).

El uso de 1-metilciclopropeno (1-MCP) es otra técnica aplicada en el mango; su eficacia depende principalmente de la concentración, el tiempo, la temperatura y el estado de madurez del fruto. El 1-MCP es un compuesto seguro, por lo que se puede utilizar en pequeña o gran escala (Blankenship y Dole, 2003). La aplicación de 300 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP en mango Kent, permitió prolongar hasta en cuatro días la vida de anaquel (Osuna *et al.*, 2005). De igual forma, Muy-Rangel *et al.* (2009) reportaron que la aplicación 400 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP retrasó la maduración del mango Ataulfo por tres días.

Los recubrimientos comestibles es otro método de conservación que ayuda a mantener la calidad de los frutos. La información correspondiente a éstos se indica a continuación.

### **4.3 Recubrimientos comestibles**

#### **4.3.1 Importancia y función**

El desarrollo de nuevo recubrimientos comestibles se debe al interés de alargar la vida de anaquel de diversos alimentos (Bósquez, 2003). De acuerdo con Del-Valle *et al.* (2005) y Bravin *et al.* (2006), un recubrimiento comestible se define como una capa delgada que se aplica directamente sobre la superficie del alimento. Su propósito es inhibir o reducir la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aromas,

lípidos, pigmentos, entre otros; además de servir como vehículo para aditivos alimentarios (antioxidantes, antimicrobianos, saborizantes, colorantes) y mejorar la integridad mecánica o características de manejo del alimento en cuestión. Estos recubrimientos conservan la calidad de los frutos y vegetales debido a que crean una barrera a los gases, produciendo una atmósfera modificada alrededor del alimento. Esta atmósfera reduce la disponibilidad de oxígeno e incrementa el dióxido de carbono. De esta forma se reduce la tasa de respiración y la pérdida de agua, aumentando así la vida de anaquel (Bósquez, 2003; Bravin *et al.*, 2006).

Los recubrimientos se elaboran a partir de una gran variedad de biopolímeros. Los biopolímeros empleados son las proteínas, polisacáridos, lípidos, resinas y sistemas multicomponentes (combinación de dos o más polímeros) (Avena-Bustillo *et al.*, 1997; González-Aguilar *et al.*, 2005). Así, los recubrimientos a base de proteínas presentan buenas propiedades de barrera a los gases (Pérez-Gago y Krochta, 2000). Aquellos a base de polisacáridos son los más utilizados para recubrir frutos, debido a sus propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad.

Para reducir la pérdida de humedad se han utilizado recubrimientos a base de lípidos debido a que éstos presentan baja polaridad produciendo una escasa permeabilidad al vapor de agua (Avena-Bustillos *et al.*, 1997). Los recubrimientos a base de lípidos tienen algunas ventajas; sin embargo, presentan algunas limitaciones como propiedades mecánicas pobres y en ocasiones mala apariencia (García *et al.*, 2000); es por eso, que éstos se mezclan con otras sustancias como polisacáridos, para dar mayor estabilidad al recubrimiento (Koelsch, 1994).

Independientemente de su fuente de origen, los recubrimientos comestibles representan una alternativa a los materiales comerciales de empaque, por ser de naturaleza biodegradable y brindar protección al medio ambiente; además son menos costosos que los plásticos, por lo que su uso reduce significativamente la basura del envasado asociada con los alimentos frescos y procesados (Debeaufort *et al.*, 1998).

#### **4.4 Materiales y propiedades de los recubrimientos**

Los recubrimientos comestibles se elaboran con biopolímeros naturales de peso molecular alto, proporcionando una matriz macromolecular con resistencia cohesiva alta. Los biopolímeros empleados para elaborar los recubrimientos son proteínas, polisacáridos, lípidos, resinas y sistemas multicomponentes (Baldwin *et al.*, 1995; Bosquez-Molina *et al.*, 2000).

Entre los polisacáridos formadores de películas o recubrimientos están incluidos la celulosa, pectinas, almidón, almidones modificados, alginatos, quitosano, carragenina y gomas vegetales. Los recubrimientos formulados con polisacáridos ofrecen buena barrera a los gases y se adhieren bien a las superficies de los frutos y hortalizas mínimamente procesadas. Sin embargo, su funcionalidad como barrera contra la pérdida de humedad es pobre debido a su naturaleza hidrofílica (Baldwin *et al.*, 1995).

Entre las ventajas potenciales de los recubrimientos a base de polisacáridos destaca el hecho de que son bajos en calorías, no son grasosos y pueden emplearse para extender la vida de anaquel de frutos y hortalizas, por lo que su aplicación en la agricultura se ha vuelto popular debido a sus propiedades para modificar la atmósfera interna de una manera similar a las atmósferas controladas (Nisperos-Carriedo, 1994).

Se han realizado diversas investigaciones utilizando como matriz a los polisacáridos; por ejemplo, Viña *et al.* (2007) observaron mayor firmeza y mejor color en coles de bruselas (*Brassica oleracea* L.) recubiertas con almidón de maíz, hidróxido de sodio y glicerol. Ribeiro *et al.* (2007) reportaron un retraso en la senescencia de fresas al recubrirlas con una mezcla de almidón, ácido cítrico y sorbitol, resultando con mejores propiedades de barrera a los gases que las fresas sin recubrimiento. Oms-Oliu *et al.* (2008) observaron una reducción en la producción de etileno en peras recubiertas con alginato, pectina y goma de gelana. En frutos de mango se evaluó un recubrimiento a base de pulpa de mango, obteniendo una reducción en la pérdida de peso en un 5 y 10% a temperaturas de almacenamiento de 30 y 5 °C respectivamente (Sothornvit y Rodsamran, 2008). Robson *et al.* (2008) registraron que la tasa de respiración en ajos recubiertos con quitosano disminuyó en un 50% comparado con el ajo sin recubrimiento.

Las proteínas como la caseína, gelatina, proteína de soya, zeína, albúmina de huevo, entre otras, son buenas formadoras de películas y se adhieren a las superficies hidrofílicas pero en la mayoría de los casos no resisten la difusión al vapor de agua. Los recubrimientos a base de proteínas para productos vegetales, no han tenido mucho éxito. Sin embargo, el desarrollo de recubrimientos en los que se combinan proteínas con materiales hidrofóbicos, ofrecen muchas oportunidades, debido a que proveen una buena protección para frutas y vegetales contra la pérdida de agua y el pardeamiento oxidativo (Gennadios *et al.*, 1994; Rojas-Graü *et al.*, 2009). Por ejemplo, Tanada-Palmu y Grosso (2005), al recubrir fresas (*Fragaria ananassa* L.) con una película a base de gluten, etanol, glicerol, cera de abeja, ácido palmítico y ácido esteárico, encontraron

una reducción de peso en las fresas hasta en un 50%, en comparación con el testigo. Monedero *et al.* (2008) aplicaron películas a base de proteína de soya (*Glycine max* M.), ácido oleico y glicerol, en diversos frutos y obtuvieron una permeabilidad selectiva al oxígeno. Además, al adicionar lípidos, la pérdida de agua disminuyó en un 50% en comparación con el testigo.

Los recubrimientos a base de lípidos y resinas se elaboran con ceras y aceites como la cera o aceite de parafina, cera de abejas, cera de carnauba, cera de candelilla, aceite mineral, aceite vegetal, monoglicéridos acetilados, ácido esteárico, ácido láurico, o ésteres de ácidos grasos-sacarosa. Generalmente, estos recubrimientos son barreras efectivas contra la humedad; sin embargo, aquellos que contienen resinas son más permeables al vapor de agua. Se ha reportado que algunos lípidos y la mayoría de las cubiertas de resinas, pueden generar condiciones anaeróbicas debido a sus características de baja permeabilidad a gases; además no se adhieren a superficies cortadas de naturaleza hidrofílica (Baldwin *et al.*, 1995; Wong *et al.*, 1994). García *et al.* (2000), observaron una reducción en la pérdida de vapor de agua en zanahorias recubiertas con aceite de girasol, almidón de maíz y glicerol. Recubrimientos a base de hidroxipropil metilcelulosa con glicerol y ácido esteárico disminuyeron la pérdida de humedad en mandarina (*Citrus reticulata* B.) (Pérez-Gago *et al.*, 2003). En los últimos años, a la mayoría de los recubrimientos se les adiciona glicerol como plastificante o simplemente para garantizar mayores propiedades de barrera a la pérdida de agua (Rojas-Graü *et al.*, 2009; Raybaudi-Massilia *et al.*, 2008).

Con el propósito de aprovechar las ventajas de los diferentes biopolímeros, actualmente los recubrimientos se elaboran combinándolos en diferentes proporciones

con la finalidad de obtener un sistema multicomponente. En este tipo de sistemas, el uso de dos o más materiales simplemente combinados o laminados permite mejorar las propiedades de intercambio gaseoso, adherencia y permeabilidad al vapor de agua (Wong *et al.*, 1994). Además, se pueden incorporar otros compuestos que ayuden a mejorar las propiedades de los recubrimientos. A estos compuestos se les clasifica como plastificantes o emulsificantes. Los plastificantes incrementan la flexibilidad del recubrimiento mejorando la dureza y disminuyendo la formación de grietas (Wong *et al.*, 1994; Rojas-Graü *et al.*, 2009).

Otra gama de componentes que se adicionan a las películas para mejorar sus propiedades son los antioxidantes, reafirmantes de textura y antimicrobianos. Éstos actúan más efectivamente en alimentos cuando forman parte del recubrimiento que cuando se aplican en soluciones acuosas mediante dispersión o inmersión, ya que el recubrimiento puede mantener a estos componentes en la superficie del alimento durante más tiempo (Baldwin *et al.*, 1996).

Las películas multicomponentes son una buena alternativa de conservación postcosecha; de ahí la importancia de tomar en cuenta la selección de materiales, la naturaleza química de éstos, la concentración y posible interacción entre ellos. Uno de los materiales estructurales que ofrece varias ventajas para formular recubrimientos y películas es el quitosano debido a su actividad antimicrobiana y su excelente compatibilidad con otras sustancias (Wong *et al.*, 1994).

#### **4.5 Recubrimientos a base de quitosano**

El quitosano, un derivado desacetilado de la quitina, es uno de los compuestos más prometedores para la elaboración de películas y recubrimientos debido a que es un biopolímero natural no tóxico, biodegradable, biofuncional, biocompatible y con poder antimicrobiano (El Ghaouth *et al.*, 1991; Wang, 1992; Plascencia-Jatomea *et al.*, 2003). Este biopolímero posee actividad antimicrobiana contra una amplia variedad de microorganismos. Su funcionalidad y actividad dependen de sus características como peso molecular, grado de acetilación, célula huésped, presencia de nutrientes naturales, composición química o nutricional de los sustratos y condiciones ambientales (Plascencia-Jatomea, 2003).

Las películas formadas a partir de quitosano son biodegradables, biocompatibles, claras, fuertes, flexibles, presentan valores moderados de permeabilidad al vapor de agua y son buena barrera para la permeabilidad al oxígeno, disminuyen la velocidad de respiración de las frutas, retrasan el proceso de maduración debido a la reducción de etileno y dióxido de carbono, e inhibe el desarrollo de microorganismos (Nisperos-Carriedo, 1994). Además, pueden ayudar a conservar y controlar las características morfológicas, fisiológicas y fisicoquímicas de los alimentos. También, estas películas tienen un alto potencial para prolongar la vida de almacenamiento y controlar la senescencia y descomposición de muchos frutos; por ejemplo, Vásquez-Ovando *et al.* (2013) encontraron mayor firmeza y mejor color en mango Ataulfo al utilizar recubrimientos a base de quitosano. La aplicación de un recubrimiento de quitosano (1%) y aceite de canela (0.1%) en fresas, permitió prolongar hasta 15 días a 5°C la vida de anaquel de esta fruta (López-Mata *et al.*, 2012). Lin *et al.* (2011) demostraron que el

recubrimiento de quitosano disminuye la tasa de respiración, la pérdida de humedad y prolonga la vida de anaquel de esta fruta hasta por cinco días.

Debido a que la actividad antimicrobiana del quitosano es limitada para ciertos microorganismos en esta investigación se mejoró su eficacia incorporando una sustancia de origen natural como el ácido eláxico con la finalidad de extender la vida de anaquel del mango 'Manila'.

Los resultados de esta investigación se exponen en el presente documento estructurado en tres manuscritos de artículos científicos (Capítulos). El primer artículo científico (Capítulo 2) incluye la competitividad en la comercialización de mango (*Mangifera indica* L.) de México. El segundo artículo (Capítulo 3) trata sobre actividad antifúngica del ácido eláxico sobre *Colletotrichum gloeosporioides* (penz.) penz. y sacc. y su aplicación en películas comestibles. En el tercer artículo (Capítulo 4) se desarrolló y caracterizó películas comestibles de quitosano-ácido eláxico y su aplicación en mango 'Manila'.

Finalmente en el capítulo de conclusiones podemos contrastar a partir de los resultados obtenidos que los recubrimientos a base de quitosano y ácido eláxico prolongan la vida de anaquel y reducen la incidencia de *Colletotrichum gloeosporioides* en mango 'Manila'.

## **5. LITERATURA CITADA**

Acosta R., Nieto A., Mena N., Teliz O., Vaquera H., Nieto A. 2000. Effect of post-harvest temperatures on the development of internal darkening in mango fruits (*Mangifera indica* L.) cv. Haden and their quality. Acta Horticulturae 509: 401-412.

- Avena-Bustillos R., Krochta J., Saltveit M. 1997. Water vapor resistance of red delicious apples and celery sticks coated with edible caseinate-acetylated monoglyceride films. *Journal of Food Science* 62: 351-354.
- Ayala-Garay A., Almaguer-Vargas G., De la Trinidad-Pérez N., Caamal-Cauich I., Rendón R. 2009. Competitividad de la producción de mango (*Mangifera indica* L.) en Michoacán. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 133-140.
- Baldwin E., Nisperos-Carriedo M., Shaw P., Burns J. 1995. Effect of coatings and prolonged storage conditions on fresh orange flavor volatiles, degrees brix and ascorbic acid levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43: 1321-1331.
- Baldwin E., Nisperos M., Chen X., Hagenmaier R. 1996. Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. *Postharvest Biology and Technology* 9: 151-163.
- Bautista-Rosales P., Calderon-Santoyo M., Servín-Villegas R., Ochoa-Álvarez N., Ragazzo-Sánchez J. 2013. Action mechanisms of the yeast *Meyerozyma caribbica* for the control of the phytopathogen *Colletotrichum gloeosporioides* in mangoes. *Biological control* 65: 293-301.
- Blankenship S., Dole J. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology* 28:1-25.
- Bosquez-Molina E., Guerrero-Legarreta I., Vernon-Carter E. 2003. Moisture barrier properties and morphology of mesquite gum-candelilla wax based edible emulsion coatings. *Food Research International* 36: 885-893.
- Bósquez E. 2003. Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka). Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México, México. pp. 1-3.
- Bosquez-Molina E., Vernon-Carter E., Pérez L, Guerrero-Legarreta I. 2000. Películas y cubiertas para la conservación en fresco de frutas y hortalizas. *Industria Alimentaria* 22: 14-36.
- Bravin B., Peressini D., Sensidoni A. 2006. Development and application of polysaccharide-lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products. *Journal of Food Engineering* 76: 280-290.
- Cáceres I., Mulkay T., Rodríguez J., Paumier A. 2003. Tratamiento postcosecha para alargar la vida de anaquel del aguacate. *SIMIENTE* 73: 20-24.

- Cárdenas-Coronel W. G., Velez-de la Rocha R., Siller-Cepeda J. H., Osuna-Enciso T., Muy-Rangel M. D., Sanudo-Barajas J. A. 2012. Changes in the composition of starch, pectin and hemicelluloses during the ripening stage of mango (*Mangifera indica* cv. Kent). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18: 5–19.
- Carvallo J.M. 2011. Alternativas para la exportación del mango manila de la región de Ídolos, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Veracruz, México. pp. 50-51.
- CICOPLAFEST (Comisión intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas). 2017. <http://www.sagarpa.gob.mx/Glosario/Paginas/CICOPLAFEST.aspx>. Fecha de acceso: 12/03/2017.
- Dautt-Castro M., Ochoa-Leyva A., Contreras-Vergara C.A., Pacheco-Sánchez M.A., Casas-Flores S., Sánchez-Flores, A., Islas-Osuna M.A. 2015. Mango (*Mangifera indica* L.) cv. Kent fruit mesocarp de novo transcriptome assembly identifies gene families important for ripening. *Frontiers in Plant Science* 6: 62-66.
- Davenport T. 2007. Reproductive physiology of mango. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19: 363-376.
- Del-Valle V., Hernández-Muños P., Guarda A. y Galotto M. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry* 91: 751-756.
- Debeaufort F., Quezada-Gallo J., Voilley A. 1998. Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 38: 299-313.
- El Ghaouth A., Arul J., Ponnampalam R., Boulet M. 1991. Chitosan coating effect on storing and quality of fresh strawberries. *Journal of Food Science* 56: 1618-1620.
- 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 and Technology* 22: 292–303.
- FAOSTAT (División de estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación). 2017. Estadística de producción de cultivos 2014. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Fecha de acceso: 12/05/2017.
- Galvis J.A., Arjona H., Fischer G., Martínez R. 2005. Using modified atmosphere packaging for storing 'Van Dyke' mango (*Mangifera indica* L.) fruit. *Agronomía Colombiana* 23: 269-275.

- García M., Martino M., Zaritzky N. 2000. Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings. *Journal of Food Science* 65: 941-944.
- Gennadios A., Weller C., Gooding C. 1994. Measurement errors in water vapor permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. *Journal Food Engineering* 21: 395-409.
- González-Aguilar G., Monroy-García I., Goycoolea-Valencia F., Díaz-Cinco M., Ayala-Zavala T. 2005. Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. *Nuevas Tecnologías de Conservación y Envasado de Frutas y Hortalizas* 1: 121-133.
- Huerta-Palacios G., Holguín-Meléndez F., Benitez-Camilo F., Toledo-Arreola J. 2009. Epidemiología de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc.) en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo, en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 27: 93-105.
- Infante F., Quilantán J., Rocha F., Esquinca H., Castillo A., Ibarra G. y Palacio V. 2011. Mango Ataulfo: Orgullo chiapaneco. *Biodiversitas* 96: 1-5.
- INFOAGRO (Agro-información). 2016. El cultivo del mango. [http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/mango.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm). Fecha de acceso: 18/10/2016.
- Jovanovic G., Klaus A., Niksic M. 2016. Antimicrobial activity of chitosan coatings and films against *Listeria monocytogenes* on black radish. *Revista Argentina de Microbiología* 48: 128-136.
- Kim Y., Brecht J.K., Talcott S. T. 2007. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. *Food Chemistry* 105: 1327-1334.
- Koelsch C. 1994. Edible water vapor barriers properties and promise. *Trends in Food Science and Technology* 5: 76-81.
- Kokoszka S., Debeaufort F., Lenart A., Voilley A. 2010. Water vapour permeability, thermal and wetting properties of whey protein isolate based edible films. *International Dairy Journal* 20: 53-60.
- López-Mata M., Ruíz-Cruz S., Navarro-Preciado C., Ornelas-Paz J., Estrada-Alvarado M., Rodrigo-García J. 2012. Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas. *BioTecnia* 14: 33-43.

- Lin B., Du Y., Liang X., Wang X., Wang X., Yang J. 2011. Effect of chitosan coating on respiratory behavior and quality of stored litchi under ambient temperature. *Journal of Food Engineering* 102: 94–99.
- Machado S., Shieber A. 2010. Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera indica* L.). Ronald Ross Watson and Victor R. Preedy Ed. *Bioactive Foods in Promoting Health: Fruits and vegetables*. Elsevier Inc., Amsterdam. pp. 509-514.
- Martínez-Dávila J.P., Bustillo-García L. 2010. La autopoiesis social del desarrollo rural sostenible. *Interciencia* 35: 223-229.
- Mattiuze B., Ducamp-Collin M., Machado C., Vigneault C., Magalhães K., Sagoua W., Montet D. 2015. Effect of propolis on postharvest control of anthracnose and quality parameters of 'Kent' mango. *Scientia Horticulturae* 184: 160-168.
- Mercado E. 2012. Estado del arte del manejo post cosecha del mango cv "Manila". Reporte final de proyecto. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. pp. 17-18.
- Monedero F.M., Fabra M.J., Talens P., Chiralt A. 2008. Effect of oleic acid-beeswax mixtures on mechanical, optical and water barrier properties of soy protein isolate based films. *Journal of Food Engineering* 91: 509-515.
- Moreira M.D., Pereda M., Marcovich N.E., Roura S.I. 2011. Antimicrobial effectiveness of bioactive packaging materials from edible chitosan and casein polymers: assessment on carrot, cheese, and salami. *Journal of Food Science* 76: M54-M63.
- Mosqueda V.R., De los Santos R.F., Becerra E.N., Cabrera M.H., Ortega Z., Del Ángel P. 1996. Manual para cultivar mango en la planicie costera del Golfo de México. INIFAP. Folleto Técnico No. 15. 130 p.
- Mukherjee S. K. 2009. Introduction: Botany and importance. In R. E. Litz Ed. *The mango: botany, production and use*. 2<sup>nd</sup> ed. Oxon, UK: CAB International. Florida, Estados Unidos. pp. 58-66.
- Muy-Rangel M., Espinoza-Valenzuela B., Siller-Cepeda J., Sañudo-Barajas A., Valdez-Torres B., Osuna-Enciso T. 2009. Efecto del 1-MCP y de una película comestible sobre la actividad enzimática y calidad pos cosecha del mango "Ataulfo". *Revista Fitotecnia Mexicana* 32: 53-60.
- NOM-EM-034-FITO-2000. Requisitos y especificaciones para la aplicación y certificación de buenas prácticas agrícolas en los procesos de frutas y hortalizas frescas. México: Norma oficial Mexicana.

- Nisperos-Carriedo M.O. 1994. Edible coatings and films based on polysaccharides. En: Edible coatings and Films to Improve Food Quality. J.M. Krochta, E.A. Baldwin y M. Nisperos-Carriedo Ed. Technomic, Lancaster, Pensilvania, EUA. pp. 305-336.
- OIEDRUS (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable Veracruz). 2016. Datos de producción anual de mango 2015. [http://www.oedrusveracruz.gob.mx./principal/anio\\_agricola?productos=Mango&indicadores=agri\\_supSembrada&example\\_length=5](http://www.oedrusveracruz.gob.mx./principal/anio_agricola?productos=Mango&indicadores=agri_supSembrada&example_length=5). Fecha de acceso: 20/12/2016.
- Oms-Oliu G., Soliva-Fortuny R., Martín-Belloso O. 2008. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh cut pears. *Postharvest Biology and Technology* 50: 87-94.
- Osuna J.A., Beltrán J.A., Urías M. 2005. Efecto del 1-Metilciclopropeno sobre la vida de anaquel y calidad de mango para exportación. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 271-278.
- Palafox H., Yahia E., Islas-Osuna M.A., Gutiérrez-Martínez P., Robles-Sánchez M., González-Aguilar G.A. 2012. Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae* 135: 7–13.
- Pérez-Gago M., Krochta J. 2000. Drying temperature effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein-lipid emulsion films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 2687-2692.
- Pérez-Gago M., Rojas C., Del Río M. 2003. Effect of hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible composite coating on postharvest quality of “Fortune” Mandarins. *Acta Horticulturae* 599: 583-587.
- Perdones A., Vargas M., Atarés L., Chiralt, A. 2014. Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan-cinnamon leaf oil films as affected by oleic acid. *Food Hydrocolloids* 36: 256-264.
- Plascencia-Jatomea M., Viniegra G., Olayo R., Castillo-Ortega M. M., Shirai, K. 2003. Effect of chitosan and temperatura on spore germination of *Aspergillus niger*. *Macromolecular Bioscience* 10: 582 - 586.
- Pornchan J., Teerada W., Pranee R., Kanogwan S. 2016. Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. *Food Science and Technology* 73: 28-36.
- Raybaudi-Massilia R., Mosqueda-Melgar J., Martín-Belloso O. 2008. Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of freshcut melon. *International Journal of Food Microbiology* 121: 313-327.

- Rehman A., Malik A., Ali H., Alam M., Sarfraz B. 2015. Preharvest factors influencing the postharvest disease development and mango fruit quality. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences* 3: 42-47.
- Ribeiro C., Vicente A., Teixeira J., Miranda C. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology* 44: 63-70.
- Robson M. G., Ferreira N.F., Alvarenga D., Almeida L. 2008. Characterization and effect of edible coatings on minimally processed garlic quality. *Carbohydrate Polymers* 72: 403-409.
- Rojas-Graü M.A., Soliva-Fortuny R., Martín-Belloso O. 2009. Edible coating to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Food Science and Technology* 20: 438-447.
- Romero-Gomezcaña N., Sánchez-García P., Rodríguez-Alcázar J., Saucedo-Veloz C. 2006. Aplicación foliar de calcio y su relación con la calidad en frutos de mango cv. Haden. *Agricultura Técnica en México* 32: 5-15.
- Sánchez-Domínguez D., Bautista-Baños S., Castillo, P. 2007. El efecto del quitosano en el desarrollo y morfología de *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. *Anales de Biología* 29: 23-22.
- Sánchez-González L., Pastor C., Vargas M., Chiralt A., González-Martínez C., Cháfer M. 2011. Effect of hydroxypropylmethylcellulose and chitosan coatings with and without bergamot essential oil on quality and safety of cold-stored grapes. *Postharvest Biology and Technology* 60: 57–63.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. Breves monografías agrícolas. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>. Fecha de acceso: 19/10/2016.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013. Producción Sistema Producto mango. <http://www.mango.gob.mx/index.php?portal=mango>. Fecha de acceso: 16/10/2013.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Aumenta producción de mango mexicano 36% en tres años. [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC\\_0001-1.aspx#](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0001-1.aspx#). Fecha de acceso: 12/05/2017.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017a. Anuario estadístico de la producción agrícola 2016. [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp). Fecha de acceso: 02/05/2017.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017b. Anuario estadístico de la producción agrícola del Estado de Veracruz 2016. [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp). Fecha de acceso: 02/05/2017.
- Singh Z., Singh R., Vidhu A., Pravendra N. 2013. Mango-Postharvest biology and biotechnology. *Critical Reviews in Plant Sciences* 32: 217-236.
- Sistema Producto Mango. 2012. Informe del sistema producto mango en el estado de Veracruz. Consejo estatal de productores de mango de Veracruz AC. 35 p.
- Sothornvit R., Rodsamram P. 2008. Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology* 47: 407-415.
- Tanada-Palmu P., Grosso C. 2005. Effect of edible wheat gluten-based films and coating on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology* 36: 199-208.
- Torres J.D. 2007. Optimización de las condiciones de operación de tratamientos osmóticos destinados al procesado mínimo de mango (*Mangifera indica* L.). Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. pp. 7-9.
- Ulloa J. A., Guatemala G. M., Arriola E., Escalona H. B., Díaz, L. 2009. Estimation of the diffusivities of sodium chloride, potassium sorbate and sodium bisulphite in mango slices processed by hurdle technology. *Journal of Food Engineering* 91: 211-216.
- Vázquez-Ovando J., Adriano-Anaya M.L., Méndez-De León R., Salvador-Figueroa M. 2013. Elaboración y caracterización física de biorecubrimientos compuestos basados en quitosano. *Que hacer científico en Chiapas* 8: 26-34.
- Viña S, A. Mugridge M., García R., Ferreyra M., Martino A., Zaritzky N. 2007. Effects of polyvinylchloride films and edible starch coatings on quality aspects of refrigerated Brussels sprouts. *Food Chemistry* 103: 701-709.
- Wall-Medrano A., Olivas-Aguirre F., Velderrain-Rodríguez G., González-Aguilar A., López-Díaz J., Álvarez-Parrilla E. 2015. El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria* 31: 67-75.

- Wang G. 1992. Inhibition and inactivation of five species of foodborne pathogens by chitosan. *Journal of Food Protection* 55: 916-919.
- Wong W., Camirand W.N., Pavlath, A.E. 1994. Development of Edible Coatings for Minimally Processed Fruits and Vegetables. En: *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. J.M. Krochta, E.A. Baldwin y M. Nisperos-Carriedo Ed. Technomic, Lancaster, Pensilvania, EUA. pp. 65-88.
- Zhou Y., Zhang L., Zeng K. 2016. Efficacy of *Pichia membranaefaciens* combined with chitosan against *Colletotrichum gloeosporioides* in citrus fruits and possible modes of action. *Biological Control* 96: 39-47.



24 7% respectivamente, mientras que la de México disminuyó 24%. Los tres países  
25 analizados presentaron una VCR mayor a 100. México es el país que tiene la mayor  
26 PEC externa en la producción de mango y es líder en la exportación a Estados Unidos;  
27 no obstante, debido a la fluctuación de los volúmenes de exportación, su competitividad  
28 ha disminuido, ocasionando menor participación en el mercado internacional.

29 **Palabras clave:** comercio internacional, importaciones, ventaja comparativa revelada.

30

### 31 **1.2 ABSTRACT**

32 The analysis of competitiveness in mango (*Mangifera indica* L.) commercialization was  
33 analyzed between México, Brazil and India, highlighting the evolution of the first two  
34 countries as principal providers to the United States market. Data for production,  
35 exports, imports and apparent consumption from the 1993-2013 period were obtained,  
36 as well as the global market participation (GMP), import penetration rate (IPR),  
37 coefficient of revealed comparative advantage (RCA), and production exposed to  
38 competition (PEC). It was found that Brazil and India's GMP increased 4 % and 7 %,  
39 respectively, while that of México decreased 24 %. The three countries analyzed  
40 presented a RCA higher than 100. México is the country that has the highest external  
41 PEC in mango production, and it is a leader in exports to the United States; however,  
42 due to the fluctuation in export volumes, its competitiveness has decreased, causing a  
43 lower participation in the international market

44 **Keywords:** international commerce, imports, revealed comparative advantage.

45

46

### 47 1.3 INTRODUCCIÓN

48 El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los productos con más alto potencial  
49 económico en el extranjero y para México representa una fuente importante de divisas  
50 (Schwentesiuss y Sangerman, 2014). Los mercados principales del mango son Estados  
51 Unidos, Canadá y, en menor medida, la Unión Europea y Japón (FAOSTAT, 2014).  
52 Estados Unidos es el principal comprador de mango mexicano, ya que recibe 56% del  
53 total de las exportaciones (Huang y Huang, 2007; Schwentesius y Sangerman, 2014).  
54 En los últimos años las exportaciones de mango mexicano han disminuido; por  
55 ejemplo, para 1995, de 335,740 toneladas de mango que se ofertaban en el mundo, en  
56 promedio, México aportaba 40%; en tanto, sus competidores más cercanos (India,  
57 Brasil) aportaban 10%. Para 2012, de 1, 483,611 toneladas de exportación de mango  
58 en el mundo, México representó 23%, mientras que India y Brasil aportaron 29.1%  
59 (FAOSTAT, 2014). Huang y Huang (2007) confirman lo anterior al indicar que México  
60 ha sido líder en la oferta de mango para Estados Unidos; sin embargo, países como  
61 Brasil, Perú y Ecuador han incrementado su participación en las exportaciones (USDA,  
62 2015a), siendo el primero quien ofrece mayor competencia a México (Ayala *et al.*,  
63 2009; Schwentesius y Sangerman, 2014). La competitividad puede definirse como la  
64 capacidad de un país, de una industria, un segmento o una cadena productiva para  
65 conquistar, mantener o incrementar su participación en los mercados internos o  
66 externos (Recalde y Barraud, 2002). La competitividad se puede analizar a través del  
67 ámbito internacional, nacional, sectorial y empresarial. En los dos primeros se puede  
68 medir utilizando los indicadores de participación en el mercado mundial (PMM), tasa de  
69 penetración de las importaciones (TPI), coeficiente de ventaja comparativa revelada

70 (VCR) y producción expuesta a la competencia (PEC), los cuales miden la  
71 competitividad macroeconómica (Rivas *et al.*, 2005; Bahta y Malope, 2014). Estos  
72 indicadores se han utilizado en investigaciones del sector agroalimentario. Así,  
73 Carraresi y Banterle (2008) evaluaron la competitividad de la industria de los alimentos  
74 y la agricultura en 14 países europeos en el periodo 1991-2006, utilizando los índices  
75 de VCR y PMM; mientras que Omaña *et al.* (2014) analizaron la competitividad  
76 comercial de carne de ganado bovino entre los países miembros del Tratado de Libre  
77 Comercio de América del Norte (TLCAN), utilizando los indicadores PMM, VCR, TPI y  
78 PEC. Dada la importancia mundial de México en la producción de mango y el papel  
79 relevante que juegan sus exportaciones en el mercado estadounidense, y en virtud de  
80 que existen pocos estudios relacionados con la competitividad de este producto, resulta  
81 importante analizar dicha competitividad con respecto a otros países productores y  
82 exportadores. Con base en lo anterior, se analizó comparativamente la competitividad  
83 en el mercado mundial de las exportaciones de mango entre México, Brasil e India,  
84 además de determinar la competitividad de México y Brasil como principales  
85 proveedores de mango en el mercado estadounidense.

86

#### 87 **1.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

88 Se elaboró una base de datos con información referente a la producción, exportación e  
89 importación de mango de México, Brasil y la India obtenida de la división de  
90 estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la  
91 Alimentación (FAOSTAT, 2014), el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera  
92 (SIAP, 2015) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), de 1993

93 a 2013. Para realizar el análisis comparativo de competitividad se evaluó el valor  
94 promedio del indicador en los primeros tres años del periodo de análisis (1993-1995)  
95 contra el promedio de los últimos tres años (2011-2013) (Omaña *et al.*, 2014). La  
96 competitividad se midió con enfoque macroeconómico, utilizando los indicadores PMM,  
97 TPI, VCR y la PEC, utilizados en estudios previos (Omaña *et al.*, 2014) y los cuales se  
98 describen a continuación:

99

#### 100 **1.4.1 Participación en el mercado mundial**

101 Mide la importancia relativa de cada país en las exportaciones de un producto, y se  
102 mide en porcentajes y su rango va de 0 a 100 (Recalde y Barraud, 2002; Omaña *et al.*,  
103 2014). La PMM se calculó para la cantidad y el valor de las exportaciones de mango  
104 del país correspondiente, expresándose de la manera siguiente:

$$PMM_{ij} = (X_{ij}/X_{im}) * 100$$

105 Dónde:  $PMM_{ij}$ = participación en el mercado mundial del producto  $i$  del país  $j$ , (%);  $X_{ij}$ =  
106 cantidad o valor de las exportaciones del producto  $i$  del país  $j$  (t o US\$);  $X_{im}$ = cantidad o  
107 valor de las exportaciones mundiales del producto  $i$  (t o US\$).

108 De manera análoga, se calculó la participación de México y Brasil en el mercado de  
109 Estados Unidos:

$$PM_{ij} = (M_{ij}/M_{im}) * 100$$

111 Dónde:  $PM_{ij}$ = participación en el mercado de importaciones de Estados Unidos del  
112 producto  $i$ , (%);  $M_{ij}$ = cantidad o valor de las importaciones estadounidenses del producto  
113  $i$  provenientes del país  $j$  (t o US\$);  $X_{im}$ = cantidad o valor de las importaciones  
114 estadounidenses producto  $i$  (t o US\$).

115 **1.4.2 Tasa de penetración de las importaciones**

116 Recalde y Barraud (2002) la definen como el cociente entre las importaciones de un  
117 producto en un país y el consumo aparente. El rango del indicador va de 0 a 100 y se  
118 calculó con las importaciones y el consumo aparente de mango para cada país,  
119 expresándose de la manera siguiente:

$$TPI_{ij} = (M_{ij}/C_{ij}) * 100$$

120 Dónde:  $TPI_{ij}$ = tasa de penetración de las importaciones del producto  $i$  en el país  $j$  (%);  
121  $M_{ij}$ = importaciones del producto  $i$  realizadas por el país  $j$  (t);  $C_{ij}$ = consumo aparente del  
122 producto  $i$  en el país  $j$  (t).

123 La TPI de México y Brasil en el mercado estadounidense se calculó con la fórmula:

$$TPI_{ij} = (M_{ij}/C_{ij}) * 100$$

124 Dónde:  $TPI_{ij}$ = tasa de penetración de las importaciones del producto  $i$  provenientes del  
125 país  $j$  en el mercado estadounidense (%);  $M_{ij}$ = importaciones estadounidenses del  
126 producto  $i$  provenientes del país  $j$  (t);  $C_{ij}$ = consumo aparente del producto  $i$  en el  
127 mercado estadounidense (t).

128

129 **1.4.3 Coeficiente de ventaja comparativa revelada**

130 Este coeficiente analiza el desempeño de un país en las exportaciones de un producto  
131 dado en comparación con sus exportaciones totales. El grado de competitividad será  
132 mayor mientras más alto sea el valor del coeficiente (Recalde y Barraud, 2002;  
133 Shwentesius y Sangerman, 2014). Para conocer la competitividad en el contexto  
134 internacional se utilizó la metodología de la VCR propuesta por Recalde y Barraud  
135 (2002):

$$VCR = [(X_{ij} / X_{nj}) / (X_{im} / X_{nm})] * 100$$

136 Dónde:  $X_{ij}$  = Valor de las exportaciones de producto  $i$  del país  $j$ ;  $X_{nj}$  = Valor de las  
 137 exportaciones totales del país  $j$ ;  $X_{im}$  = Valor de las exportaciones del producto  $i$  en el  
 138 mundo;  $X_{nm}$  = Valor de las exportaciones totales en el mundo.

139 De manera similar, se calculó la VCR de las importaciones provenientes de México y  
 140 Brasil en el mercado estadounidense:

$$VCR = [(M_{ij} / M_{nj}) / (M_{im} / M_{nm})] * 100$$

141 Dónde:  $M_{ij}$  = Valor de las importaciones estadounidenses del producto  $i$  del país  $j$ ;  $M_{nj}$  =  
 142 Valor de las importaciones totales estadounidenses del país  $j$ ;  $M_{im}$  = Valor de las  
 143 importaciones del producto  $i$  en los Estados Unidos;  $M_{nm}$  = Valor de las importaciones  
 144 totales en los Estados Unidos.

145

#### 146 **1.4.4 Producción expuesta a la competencia**

147 Este indicador muestra el porcentaje de la producción de un bien o sector expuesto a la  
 148 competencia externa. La PEC se mide en porcentaje y su valor va de 0 a 100; a mayor  
 149 valor mayor competitividad. La PEC se expresa como:

$$PEC_{ij} = \left( \left( \frac{X_{ij}}{P_{ij}} \right) * 100 + 100 - \left( \frac{X_{ij}}{P_{ij}} \right) * 100 \right) * TPI_{ij}$$

150 Dónde:  $PEC_{ij}$  = Producción expuesta a la competencia del producto  $i$  en el país  $j$  (%);  $X_{ij}$   
 151 = Exportaciones de producto  $i$  del país  $j$  (t);  $P_{ij}$  = Producción del producto  $i$  del país  $j$  (t);  
 152  $TPI_{ij}$  = Tasa de penetración de las importaciones del producto  $i$  del país  $j$ .

153

154

155 **1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

156 La PMM de la cantidad exportada de mango de Brasil e India ha aumentado en los  
 157 últimos años (2011-2013), con respecto a los primeros años del análisis (1993- 1995);  
 158 no así la cantidad exportada de México, que ha disminuido (Cuadro 1.1) debido a la  
 159 competencia de Perú, Pakistán, Tailandia y Ecuador (Maya *et al.*, 2011). Sin embargo,  
 160 de los tres países analizados en este estudio, México presentó el mayor porcentaje en  
 161 la cantidad de las exportaciones de mango, lo cual pudiera estar relacionado con la  
 162 calidad del producto y la aceptación del consumidor a las diferentes variedades de  
 163 mango (Maya *et al.*, 2011). En cuanto al valor de las exportaciones de mango, la PMM  
 164 para México disminuyó drásticamente al pasar de 40% (1993-1995) a 15% (2011-  
 165 2013), debido probablemente al exceso de oferta de la fruta, ya que en los últimos años  
 166 México compite con otros países, lo cual provoca que su desempeño comercial  
 167 presente un esquema de precios bajos para poder competir en el mercado  
 168 internacional (Soto y Martínez, 2009; SIAVI, 2015).

169

170 Cuadro 1.1. Participación de los principales países productores de mango en el  
 171 mercado mundial de las exportaciones.

Periodo	Cantidad de las exportaciones (%)				Valor de las exportaciones (%)			
	México	Brasil	India	Otros países	México	Brasil	India	Otros países
Promedio 1993-1995	37.82	4.84	9.42	47.92	40.27	5.78	6.51	47.44
Promedio 2011-2013	20.15	8.86	16.57	54.42	15.50	10.02	15.29	59.18

172 Fuente: Elaboración propia con datos de la FAOSTAT (2014) y SIAP (2015).

173

174 Durante el período de análisis, México mantuvo la mayor participación en el mercado  
 175 de importación de mango para los Estados Unidos, con 66% de la cantidad importada y  
 176 69% del valor de las importaciones durante el periodo de 2011- 2013, mientras que  
 177 Brasil participó con 6% y 7% en los mismos rubros. La participación de Brasil ha  
 178 mejorado 3% en cantidad y 4% en valor de las importaciones estadounidenses entre los  
 179 primeros y los últimos años de análisis, mientras que México perdió 20% en cantidad y  
 180 18% en valor de las importaciones estadounidenses (Cuadro 1.2). Esto se debe al  
 181 crecimiento de las importaciones estadounidenses de otros países como Brasil, Perú,  
 182 Ecuador, Guatemala, Haití y Filipinas (Maya *et al.*, 2011; Omaña *et al.*, 2014).

183

184 Cuadro 1.2. Participación de México y Brasil en el mercado de las importaciones  
 185 estadounidenses de mango.

Periodo	Cantidad de las importaciones (%)		Valor de las importaciones (%)	
	México	Brasil	México	Brasil
Promedio 1993-1995	85.73	2.98	87.35	3.04
Promedio 2011-2013	66.14	6.19	69.37	7.21

186 Fuente: Elaboración propia con datos del USDA (2015a).

187

188 Al respecto, diversos autores han reportado que en los últimos años México ha  
 189 disminuido su participación en el mercado de las exportaciones. Por ejemplo, Echánove  
 190 (2004) señala que México sigue siendo líder en las exportaciones de mango a Estados  
 191 Unidos (EUA); sin embargo, la disminución de éstas, obedece a que la oferta ha sido  
 192 mucho mayor que la demanda. Soto y Martínez (2009) mencionan que México ha

193 perdido participación en el mercado de mango en EUA y que esto puede ser  
194 contrarrestado con incrementos en las de fruto de mayor calidad.

195 De acuerdo a la TPI, los países más competitivos son aquellos en que las  
196 importaciones son mucho menores al consumo aparente del mango (Recalde y  
197 Barraud, 2002). Durante el periodo de 1993 a 1995, México presentó una TPI de  
198 0.01%, y en el periodo de 2011 a 2013 de 0.17% (Cuadro 1.3). Sin embargo, los tres  
199 países analizados en este estudio presentaron los mejores niveles de competitividad en  
200 comparación con otros países productores de mango quienes presentaron una TPI  
201 promedio de 0.01 de 1993 a 1995 y de 0.27 de 2011 a 2013 (Ayala *et al.*, 2009;  
202 FAOSTAT, 2014).

203 En el mercado estadounidense de mango, Brasil incrementó su TPI; pasando de 0.01%  
204 a 6% entre los primeros y los últimos años de análisis, respectivamente. En contraste,  
205 la TPI estadounidense de México ha disminuido al pasar de 90% a 67% (Cuadro 1.3).  
206 No obstante, presenta una mayor TPI que Brasil debido a que sigue siendo el principal  
207 país vendedor en dicho atribuido a la cercanía geográfica y al TLCAN (Maya *et al.*,  
208 2011).

209 La competitividad de Brasil aumentó como consecuencia del incremento en la  
210 producción y en las exportaciones y la disminución de las importaciones, lo que  
211 ocasiona un crecimiento del consumo aparente. Mientras tanto, la competitividad de  
212 México se redujo debido a un incremento de las importaciones de mango (Bahta y  
213 Malope, 2014) de la India, Ecuador y Tailandia, principalmente durante los meses de  
214 octubre a enero (SIAVI, 2015).

215

216 Cuadro 1.3. Tasa de penetración de las importaciones de mango durante el periodo de  
 217 1993-2013.

Periodo	TPI por país (%)				TPI de Estados Unidos (%)	
	México	Brasil	India	Otros países	México	Brasil
Promedio 1993-1995	0.01	0.00	0.00	0.01	89.69	0.01
Promedio 2011-2013	0.17	0.01	0.04	0.27	67.12	6.28

218 Fuente: Elaboración propia con datos de la FAOSTAT (2014) y USDA (2015a).

219  
 220 Los tres países analizados en este estudio presentan una VCR mayor a 100, lo que  
 221 indica que son competitivos en las exportaciones de mango (Cuadro 1.4). México ha  
 222 presentado una tendencia a reducir su competitividad de un periodo a otro, contrario a  
 223 la tendencia que presenta Brasil.

224 México ha perdido competitividad macroeconómica y por lo tanto, las oportunidades de  
 225 crecer como exportador. Los factores principales que pueden influir en dicha pérdida  
 226 son: el tipo de cambio, la falta de eficiencia y continuidad de los programas de fomento  
 227 al campo, la pérdida de rentabilidad en las unidades de producción, así como el  
 228 incremento constante de los precios de los insumos para la producción (Ayala *et al.*,  
 229 2009). Otros factores que influyen en la competitividad del mango son las plagas,  
 230 además de la inocuidad que es requisito de calidad del mango de exportación (Vargas  
 231 *et al.*, 2013; Singh *et al.*, 2013).

232 Al comparar las importaciones estadounidenses de mango con el valor total de sus  
 233 importaciones agrícolas, de acuerdo con el coeficiente de la VCR, se observó que  
 234 actualmente México y Brasil son competitivos; sin embargo, en el caso de México esto  
 235 disminuyó, sin dejar de ser por ello más competitivo que Brasil, que mejoró en dicho

236 rubro (Cuadro 1.4), atribuido a innovaciones tecnológicas en producción, almacenaje,  
 237 empaque y transporte, lo cual le ha permitido que incursione en el mercado  
 238 estadounidense (Huang y Huang, 2007).

239

240 Cuadro 1.4. Coeficiente de ventaja comparativa revelada de las exportaciones de  
 241 mango.

Periodo	VCR por país (%)			VCR de Estados Unidos (%)	
	México	Brasil	India	México	Brasil
Promedio 1993-1995	5165.77	571.97	1124.96	2132.61	44.89
Promedio 2011-2013	790.07	744.39	975.99	671.50	148.87

242 Fuente: Elaboración propia con datos de la FAOSTAT (2014) y USDA (2015b).

243

244 México es el país que tiene la mayor PEC externa en la producción de mango, pasando  
 245 de 9% a 30% (Cuadro 1.5). De acuerdo con este indicador, el nivel de las  
 246 exportaciones de México ha aumentado, debido a un incremento mayor en la  
 247 producción, superando a países competidores (Soto y Martínez, 2009; Omaña *et al.*,  
 248 2014; Schwentesius y Sangerman, 2014).

249

250 Cuadro 1.5. Producción expuesta a la competencia por país en el periodo de 1993-  
 251 2013.

Periodo	PEC (%)			
	México	Brasil	India	Otros países
Promedio 1993-1995	9.44	2.35	0.26	14.21
Promedio 2011-2013	30.31	10.51	0.88	96.93

252 Fuente: Elaboración propia con datos de la FAOSTAT (2014).

253 México es líder en la exportación de mango en Estados Unidos, pero como se ha  
254 indicado, su competitividad ha disminuido, lo que le ha ocasionado la pérdida de la  
255 participación en el mercado internacional (Ayala *et al.*, 2009). Bajo este contexto, es  
256 importante que los productores incrementen el uso de tecnologías en pre y  
257 postcosecha que les permitan reducir los costos de producción, incrementar la  
258 productividad, mejorar la calidad y diversificar la oferta del mango a otros países. En la  
259 pre-cosecha destacan las técnicas de inducción floral, tratamientos con fungicidas,  
260 entre otros; mientras que en la postcosecha pueden emplearse los tratamientos  
261 hidrotérmicos, tratamientos con aire caliente forzado, la irradiación, las atmosferas  
262 modificadas o controladas y los recubrimientos comestibles (Tassadit *et al.*, 2009;  
263 Singh *et al.*, 2013; Vargas *et al.*, 2013). Además es importante la capacitación y  
264 asistencia técnica a los productores sobre el conocimiento y manejo de mercado,  
265 especialmente con respecto a los precios y a la comercialización de su producto (Rivas  
266 *et al.*, 2005; Ayala *et al.*, 2009).

267 Si bien México presenta algunas debilidades para la producción y exportación del  
268 mango, también destacan algunas fortalezas para éste efecto, como las condiciones  
269 edafo-climáticas, las variedades producidas para exportación, la ubicación geográfica  
270 de empacadoras y la cercanía de los puertos para embarque (Soto y Martínez, 2009).

271

## 272 **1.6 CONCLUSIONES**

273 Aun cuando la competitividad y las exportaciones de mango procedentes de México a  
274 Estados Unidos disminuyeron en los últimos años del periodo evaluado, éste se  
275 mantuvo como exportador principal, aunque ello ha permitido que Brasil aumentara su

276 participación en dicho mercado. Para recuperar ese nicho, es importante que el sector  
277 productivo invierta en estrategias de mercado y tecnología para mejorar la  
278 productividad y ofrecer al mercado frutos de mango de excelente calidad.

279

## 280 **1.7 LITERATURA CITADA**

281 Ayala A., Almaguer G., De la Trinidad N, Caamal I., Rendón R. 2009. Competitividad de  
282 la producción de mango (*Mangifera indica* L.) en Michoacan. Revista Chapingo  
283 Serie Horticultura 15: 133-140.

284

285 Bahta S., Malope P. 2014. Measurement of competitiveness in smallholder livestock  
286 systems and emerging policy advocacy: An application to Botswana. Food Policy  
287 49: 408-417.

288

289 Carraresi L., Banterle A. 2008. Measuring competitiveness in the EU market: a  
290 comparison between food industry and agriculture. European Association of  
291 Agricultural Economists. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/43692/2/187>.  
292 Fecha de acceso: 24/02/2015.

293

294 Echanove F. 2004. Globalisation and restructuring in rural Mexico: The case of fruit  
295 growers. *Economische en Sociale Geografie* 96: 15-30.

296

297 FAOSTAT (División de estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la  
298 agricultura y la Alimentación). 2014. Estadística de comercio/cultivos y productos  
299 de ganadería. <http://faostat.fao.org/>. Fecha de acceso: 24/06/2014.

300

301 Huang S., Huang K. 2015. Increased U.S. Imports of fresh fruit and vegetables. Report  
302 from the Economic Research Service/ USDA. Septiembre 2007.  
303 [http://www.ers.usda.gov/media/187841/fts32801\\_1\\_.pdf](http://www.ers.usda.gov/media/187841/fts32801_1_.pdf). Fecha de acceso:  
304 15/01/2015.

305

306 Machado S., Shieber A. 2010. Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera indica* L.).  
307 Ronald Ross Watson and Victor R. Preedy Ed. Bioactive Foods in Promoting  
308 Health: Fruits and vegetables. Elsevier Inc. 509-514 pp.

309

310 Maya C., Sakamoto K., Retes L. 2011. Diversificación de los mercados frutícolas  
311 externos de México ante los desafíos de la globalización: el caso de las  
312 exportaciones de mango a Japón. *Revista México y la Cuenca del Pacífico* 42: 67-  
313 96.

314

315 Omaña J.M., Almora I. Cruz B., Hoyos G., Quintero J.M., Fortis M. 2014.  
316 Competitividad de la carne de Ganado bovino entre los países miembros del  
317 TLCAN 1997-1998. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2: 175-189.  
318

319 Recalde M., Barraud, A. 2002. Competitividad de la carne vacuna en Argentina.  
320 Actualidad Económica 52: 14-22.  
321

322 Rivas L.A., Peña M.P., Gómez M. 2005. Competitividad de los productores de mango  
323 en la costa grande en el municipio Tecpan de Galeana, Estado de Guerrero,  
324 México. Investigación Administrativa 35: 21-37.  
325

326 Schwentesius R., Sangerman D. 2014. Desempeño competitivo de la fruticultura  
327 mexicana, 1980-2011. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5: 1287-1300.  
328

329 SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Secretaría de Agricultura,  
330 Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación del Gobierno de México. 2015.  
331 Resumen nacional por producto de avances de siembras y cosechas 2015.  
332 <http://www.siap.gob.mx/>. Fecha de acceso: 04/09/2015.  
333

334 Singh Z., Singh R., Vidhu A., Pravendra N. 2013. Mango-Postharvest biology and  
335 biotechnology. Critical Reviews in Plant Sciences 32: 217-236.  
336

337 SIAVI (Sistema de Información Arancelaria Vía Internet). Secretaría de Economía.  
338 2015. Frutos. Mangos. <http://www.economia-snci.gob.mx/>. Fecha de acceso:  
339 28/11/2015.  
340

341 Soto D., Martínez A. 2009. Procedimiento para el análisis de equilibrio parcial de las  
342 exportaciones mexicanas de mango a EE. UU. Revista Fitotecnia Mexicana 32:  
343 251-256.  
344

345 Tassadit D., Florence F., Lopez-Lauri H., Filgueiras A., Freire M., Sallanon H. 2009.  
346 Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica L.*) by  
347 hot water treatments. Postharvest Biology and Technology 52: 221-226.  
348

349 USDA (United States Department of Agriculture). 2015a. Economic Research Service.  
350 U.S. Phytosanitary Regulation of Mango Imports.  
351 <http://search.ers.usda.gov/search?affiliate=ers&query=import%20mangoes>. Fecha  
352 de acceso: 14/04/2015.  
353

354 USDA (United States Department of Agriculture). 2015b. Economic Research Service.  
355 Yearbook Tables. [http://www.ers.usda.gov/data-products/fruit-and-tree-nut-](http://www.ers.usda.gov/data-products/fruit-and-tree-nut-data/yearbook-tables.aspx)  
356 [data/yearbook-tables.aspx](http://www.ers.usda.gov/data-products/fruit-and-tree-nut-data/yearbook-tables.aspx). Fecha de acceso: 14/04/2015.  
357

358 Vargas M. A., De la Cruz J., Espinosa J., Oliart R., Ramírez J.A., García H.S. 2013.  
359 Effect of High Hydrostatic Pressure on the Physiology of `Manila Mango. Plant  
360 Foods for Human Nutrition 68: 137–144.  
361  
362  
363  
364  
365  
366  
367  
368  
369  
370  
371  
372  
373  
374  
375  
376  
377  
378  
379  
380  
381  
382  
383  
384  
385  
386  
387  
388  
389  
390  
391  
392  
393  
394  
395

1           **CAPITULO 2. ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DEL ÁCIDO ELÁGICO SOBRE**  
2           ***Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. Y SU APLICACIÓN EN**  
3           **PELÍCULAS COMESTIBLES.**

4           ANTIFUNGAL ACTIVITY OF ELLAGIC ACID ON *Colletotrichum Gloeosporioides* AND  
5           ITS APPLICATION ON EDIBLE COATINGS

6  
7           **Ramón-Canul, L.<sup>1</sup>; Soto-Estrada, A.<sup>1\*</sup>; López-Collado, J.<sup>1</sup>; Arévalo-Galarza, M. L.<sup>2</sup>;**  
8           **García-Galindo, H.S.<sup>3</sup>; Figueroa-Rodríguez, K.<sup>4</sup>;**

9           <sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km. 88.5 Carretera Federal Xalapa-  
10           Veracruz-, Predio Tepetates C.P. 91690, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.

11           <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 35.5 Carretera México-Texcoco  
12           C.P. 56230, Montecillo, Edo. de México. <sup>3</sup>Unidad de Investigación y Desarrollo en

13           Alimentos, Instituto Tecnológico de Veracruz, Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779,  
14           C.P. 91897, Veracruz, México. <sup>4</sup>Colegio de Postgraduados, campus Córdoba. Km. 348

15           Carretera Federal Córdoba-Veracruz. C.P. 56230, Municipio de Amatlán de los Reyes,  
16           Veracruz.

17           **\*Autor de correspondencia:** alejandras@colpos.mx

18  
19           **2.1 RESUMEN**

20           *Colletotrichum gloeosporioides* es un hongo patógeno que reduce considerablemente la  
21           vida de anaquel del mango 'Manila'. Compuestos naturales como el quitosano y el  
22           ácido elágico han mostrado propiedades antifúngicas contra diversos patógenos  
23           postcosecha. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ácido elágico y su

24 combinación con recubrimientos de quitosano sobre *C. gloeosporioides*, *in vitro* e *in*  
25 *vivo*. Para la evaluación del ácido elágico *in vitro*, los tratamientos incluyeron cuatro  
26 concentraciones (0.1, 0.3, 0.5 y 0.7%, cada una mezcladas en medio PDA) y el testigo  
27 (solo PDA). Para la evaluación de los recubrimientos *in vitro* e *in vivo*, los tratamientos  
28 consistieron en quitosano al 1% y ácido elágico (0.3, 0.5 y 0.7%). Los mangos se  
29 inocularon artificialmente y se almacenaron a 13 °C durante 18 días. La cepa de *C.*  
30 *gloeosporioides* utilizada se aisló de frutos infectados. Se midió el crecimiento micelial,  
31 la esporulación, la germinación de esporas y la severidad del patógeno. Las  
32 concentraciones de ácido elágico inhibieron el crecimiento micelial del patógeno *in*  
33 *vitro*; las concentraciones de 0.5 y 0.7% fueron más eficientes en inhibir la germinación  
34 de esporas y esporulación (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). La severidad de la antracnosis fue  
35 significativamente menor ( $p \geq 0.05$ ) en mangos recubiertos con quitosano-ácido elágico  
36 que en aquellos recubiertos únicamente con quitosano. El uso del ácido elágico en los  
37 recubrimientos es una opción para controlar la antracnosis en el mango.

38 **Palabras clave:** antracnosis, quitosano, hongo.

39

## 40 **2.2 ABSTRACT**

41 *Colletotrichum gloeosporioides* is a fungal plant pathogen that greatly shorten the shelf  
42 life of mango *var.* Manila. Chitosan and ellagic acid are natural compounds with  
43 antifungal properties against postharvest plant pathogens. The objective of this study  
44 was to evaluate, *in vitro* and *in vivo*, the effect of ellagic acid and its combination with  
45 chitosan coatings against *C. gloeosporioides*. Treatments with ellagic acid included four  
46 concentrations (0.1, 0.3, 0.5 y 0.7%, each one mixed on PDA) and the control (PDA

47 only). For coatings evaluations, *in vitro* and *in vivo*, treatments involved 1% chitosan  
48 and three concentrations of ellagic acid (0.3, 0.5 y 0.7%). Mangoes were artificially  
49 inoculated and stored at 13 °C for 18 days. A strain of *C. gloeosporioides* isolated from  
50 infected mangoes was used. Mycelial growth, sporulation, spore germination, and  
51 severity were measured. All ellagic acid concentrations inhibited pathogen mycelial  
52 growth, *in vitro*; concentrations at 0.5 y 0.7% efficiently inhibited spore germination and  
53 sporulation (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Anthracnose severity was significantly lower ( $p \geq 0.05$ ) on  
54 mangos coating based on chitosan- ellagic acid than on mangos coating based on  
55 chitosan alone. The use of ellagic acid in coatings is an option for anthracnose disease  
56 control on mango.

57 **Keywords:** anthracnose, chitosan, fungus.

58

### 59 **2.3 INTRODUCCIÓN**

60 La antracnosis, causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, es una de las  
61 principales enfermedades postcosecha que afectan al mango. Esta enfermedad se  
62 manifiesta en hojas, ramas jóvenes, inflorescencias y frutos. La infección de los frutos  
63 puede causar su caída prematura; durante la fase de maduración de los frutos se  
64 desarrollan lesiones irregulares de color café oscuro a negro que afectan la calidad y el  
65 valor comercial del mango, provocando pérdidas económicas para el productor  
66 (Gutiérrez *et al.*, 2003, Carrillo *et al.*, 2005).

67 La antracnosis se controla principalmente con la aplicación de fungicidas sintéticos, los  
68 cuales han provocado la resistencia del patógeno debido al incremento en la  
69 concentración y la frecuencia de su aplicación, lo que ocasiona que se rebasen los

70 límites permitidos y se ponga en riesgo la inocuidad del producto (Gutiérrez *et al.*, 2003;  
71 Zavala-León *et al.*, 2005; Zhou *et al.*, 2016). Por lo anterior, el uso de productos de  
72 origen natural como aceites esenciales, ácidos orgánicos, compuestos polifenólicos,  
73 entre otros, ofrecen una opción para el control de enfermedades postcosecha debido a  
74 que son biodegradables y muestran efectividad en el control de diversas especies de  
75 hongos (Guerrero *et al.*, 2007).

76 Dentro de los compuestos polifenólicos de origen natural se encuentra el ácido elálgico,  
77 el cual se obtiene principalmente de la granada y los arándanos (Vattem y Shetty,  
78 2003; Seeram *et al.*, 2005). Rongai *et al.* (2016) reportaron que la punicalagina y el  
79 ácido elálgico, encontrados en el extracto acuoso de la cáscara de la granada,  
80 mostraron actividad antimicrobiana sobre *Fusarium oxysporum*. Varios estudios indican  
81 que el ácido elálgico tiene efectos positivos en la salud, tales como antioxidantes,  
82 antimutagénicos y antimicrobianos (Khanbabaee y Van Ree, 2001; Ventura *et al.*, 2007;  
83 Osorio *et al.*, 2010). Con respecto a sus propiedades antimicrobianas, se ha  
84 demostrado que a concentraciones de 0.1%, este ácido inhibe el crecimiento de *C.*  
85 *truncatum* y *C. coccodes* en un 25% y 75%, respectivamente (Osorio *et al.* 2010). Sin  
86 embargo, no se han encontrado reportes que indiquen si tiene propiedades antifúngicas  
87 contra *Colletotrichum gloeosporioides*, patógeno que ataca a un gran número de frutas.  
88 Otra opción para controlar a *C. gloeosporioides* son las películas de quitosano, las  
89 cuales presentan actividad antimicrobiana contra diversos microorganismos (Sánchez  
90 *et al.*, 2007; Perdonés *et al.*, 2014; Jovanovic *et al.*, 2016). Por ejemplo, Sebti *et al.*  
91 (2005) observaron que películas de quitosano al 1% inhibieron al 100% la esporulación  
92 de *Aspergillus niger*. Igualmente, López *et al.* (2013) reportaron que el quitosano al 1%

93 inhibió la germinación de *Alternaria alternata* y redujo la esporulación a  $1.0 \times 10^6$   
94 esporas  $\text{mL}^{-1}$  en comparación con  $1.4 \times 10^6$  esporas  $\text{mL}^{-1}$  del testigo. Las películas de  
95 quitosano nanoestructurado inhibieron el crecimiento micelial (0.2%) y la germinación  
96 de esporas (96%) de *C. gloeosporioides* (Correa *et al.*, 2017). Por lo anterior, el ácido  
97 elágico incorporado a los recubrimientos de quitosano podrían reducir la incidencia de  
98 *C. gloeosporioides* en diversos frutos.

99 En virtud del potencial antifúngico del ácido elágico, el objetivo de este trabajo fue  
100 evaluar el efecto del ácido elágico y su combinación con recubrimientos de quitosano  
101 sobre *C. gloeosporioides in vitro e in vivo*.

102

## 103 **2.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### 104 **2.4.1 Cepa de *C. gloeosporioides***

105 El hongo se aisló de frutos de mango 'Manila' con síntomas característicos de la  
106 antracnosis; estos frutos se cosecharon en huertas de mango ubicadas en los Ídolos,  
107 Actopan, Veracruz ( $96^{\circ} 31' 0.0''$  de longitud oeste y  $19^{\circ} 24' 31''$  de latitud norte), durante  
108 el mes de abril de 2014. Fragmentos (5 x 5 mm) de tejido enfermo de los frutos se  
109 desinfectaron con hipoclorito de sodio al 2% (v/v) por 1 min, se enjuagaron tres veces  
110 con agua destilada estéril y se transfirieron a cajas de Petri con medio de cultivo agar  
111 dextrosa papa (PDA) (DIBIBO<sup>®</sup>, México), las cuales se incubaron a  $25 \pm 2$  °C durante  
112 cinco días. Después de la incubación, una porción de micelio se transfirió a otra caja de  
113 Petri con PDA para purificar los aislamientos. Finalmente, se obtuvieron cuatro cepas, a  
114 las cuales se les determinó la patogenicidad mediante los postulados de Koch. Para  
115 ello, se seleccionaron frutos sanos de mango 'Manila' de acuerdo al tamaño, estado de

116 madurez y libre de daños físicos y patológicos, y se desinfectaron como se describió  
117 anteriormente. A continuación, en la parte ecuatorial del fruto se realizaron tres heridas  
118 con una aguja de disección estéril; el tamaño de la herida fue de aproximadamente 2  
119 mm de diámetro por 2 mm de profundidad. Posteriormente, en cada herida se  
120 depositaron 10  $\mu\text{L}$  de una suspensión de  $1 \times 10^6$  conidios  $\text{mL}^{-1}$  correspondientes a la  
121 cepa más virulenta, procedente de frutos (H4F4). Los frutos inoculados se mantuvieron  
122 en cámara húmeda a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) durante una semana para  
123 reproducir los síntomas de la antracnosis y así corroborar la patogenicidad de *C.*  
124 *gloeosporioides* (López *et al.*, 2013, Correa *et al.*, 2017). Los frutos inoculados  
125 desarrollaron síntomas los síntomas típicos de la antracnosis. De estos frutos  
126 infectados se aisló nuevamente el patógeno, el cual se inoculó en otros frutos como se  
127 describió anteriormente y se obtuvieron los mismos síntomas. La identificación del  
128 hongo se realizó comparando las estructuras morfológicas observadas con aquellas  
129 descritas en las claves de Barnett y Hunter (1972).

130

#### 131 **2.4.2 Evaluación *in vitro*.**

132 Se prepararon cuatro concentraciones de ácido elágico (0.1, 0.3, 0.5, 0.7%) (PM =  
133 302.19 g/mol) (Sigma Aldrich<sup>®</sup>, Missouri, USA) en etanol. De cada concentración de  
134 ácido se tomaron 150  $\mu\text{L}$  y se mezclaron con 20 mL de PDA; cada mezcla se vertió en  
135 una caja de Petri. Posteriormente, en cada caja se colocó un disco de agar de 5 mm de  
136 diámetro con micelio del hongo de cinco días de edad. El testigo incluyó medio de  
137 cultivo sin ácido elágico. En total se obtuvieron cinco tratamientos que incluyeron las  
138 cuatro concentraciones de ácido elágico y el testigo (Cuadro 2.1). Las cajas con las

139 concentraciones (tratamientos) se incubaron a  $25 \pm 2$  °C por 7 días; al término de este  
140 periodo se midió el crecimiento micelial y la esporulación. A partir del crecimiento  
141 micelial se calculó el porcentaje de inhibición de dicho crecimiento para cada uno de los  
142 tratamientos, mediante la fórmula siguiente (Yenjit *et al.*, 2010):

$$\text{ICM (\%)} = \frac{\text{DCMT} - \text{DCMt}}{\text{DCMT}} * 100$$

143 Dónde: ICM = inhibición del crecimiento micelial; DCMT = diámetro del crecimiento  
144 micelial del testigo; DCMt = diámetro del crecimiento micelial del tratamiento.

145 Para la prueba de esporulación, las esporas se recolectaron de las cajas de Petri de  
146 cada tratamiento. A cada caja de Petri se le añadió 10 mL de agua destilada estéril y  
147 con ayuda de una varilla de vidrio estéril se removieron las esporas hasta formar una  
148 suspensión. La suspensión de esporas se filtró con una gasa estéril y 50  $\mu\text{L}$  de esta  
149 suspensión se transfirió a una cámara de Neubauer (BRAND<sup>®</sup>, México) para  
150 determinar el número de esporas bajo un microscopio (ZEISS<sup>®</sup> modelo Axio Lab.A1,  
151 Oberkochen, Alemania). Los resultados se reportaron como inhibición de la  
152 esporulación (Soylu *et al.*, 2010), utilizando la formula siguiente:

$$\text{IE (\%)} = \frac{\text{NCT} - \text{NCt}}{\text{NCT}} * 100$$

153 Dónde: IE = inhibición de la esporulación; NCT = número de conidios del testigo; NCt =  
154 número de conidios del tratamiento.

155 Además se evaluó el porcentaje de inhibición de la germinación. Para esto, a partir de  
156 un cultivo esporulado de cinco días de edad, se preparó una suspensión de  $1 \times 10^6$   
157 esporas  $\text{mL}^{-1}$  en agua destilada estéril. Se colocaron 50  $\mu\text{L}$  de esta suspensión en  
158 cajas de Petri que contenían la mezcla de PDA y las diferentes concentraciones de

159 ácido eláxico. Las cajas se incubaron durante 8 h a  $25 \pm 2$  °C; al finalizar este periodo  
160 se determinó la germinación de 100 esporas. Una espora se consideró germinada  
161 cuando el tubo germinativo alcanzó el doble del diámetro mayor de la espora. El  
162 porcentaje de inhibición de la germinación se calculó mediante la fórmula siguiente  
163 (Yenjit *et al.*, 2010):

$$IG (\%) = \frac{NCGT - NCGt}{NCGT} * 100$$

164 Dónde: IG = inhibición de la germinación; NCGT = número de conidios germinados del  
165 testigo; NCGt = número de conidios germinados del tratamiento.

166

167 **Elaboración de los recubrimientos a base de quitosano y ácido eláxico.** Se utilizó  
168 quitosano de peso molecular medio (75-85% de grado de desacetilación y viscosidad  
169 de 200-800 cps) y tres concentraciones de ácido eláxico (0.3, 0.5 y 0.7%) (Sigma  
170 Aldrich®, Missouri, USA). Estas concentraciones se seleccionaron en función del  
171 resultado del porcentaje de inhibición del crecimiento micelial evaluado previamente.  
172 Para elaborar los recubrimientos, inicialmente se preparó una solución de quitosano al  
173 1%, mediante la disolución del mismo en una solución de ácido acético al 1%, con  
174 agitación constante durante 24 h a temperatura ambiente. La solución se ajustó a un  
175 pH de 5.6 con NaOH (1N); se le adicionó glicerol (0.3 %) y cera de abeja (0.1 %); y se  
176 homogenizó durante 15 minutos, hasta obtener una emulsión. Esta emulsión se  
177 desgasificó al vacío para eliminar las burbujas de aire disueltas y se separó en tres  
178 vasos de precipitado. A cada vaso se le agregó la respectiva concentración de ácido  
179 eláxico, se homogenizó por 10 min y se dejó reposar durante 24 h (Sebti *et al.*, 2005;  
180 Ramos *et al.*, 2012).

181 **Efecto antifúngico de los recubrimientos.** Para esta prueba *in vitro*, en cajas de Petri  
182 se mezcló PDA con emulsiones de quitosano-ácido elágico previamente mencionadas.  
183 En cada caja se colocó un disco de agar de 5 mm de diámetro con micelio del hongo  
184 de cinco días de edad. Como testigo positivo se incluyó PDA con solución de quitosano  
185 al 1% y como testigo absoluto medio PDA solo. Se obtuvieron cinco tratamientos  
186 (QAE3: recubrimiento con quitosano al 1% y ácido elágico al 0.3%, QAE5:  
187 recubrimiento con quitosano al 1% y ácido elágico al 0.5%, QAE7: recubrimiento con  
188 quitosano al 1% y ácido elágico al 0.7% y los correspondientes testigos (Cuadro 2.2).  
189 Las cajas se incubaron a  $25 \pm 2$  °C por 7 días y se midió el diámetro del crecimiento  
190 micelial con el cual se calculó el porcentaje de inhibición de dicho crecimiento mediante  
191 la fórmula descrita anteriormente (Yenjit *et al.*, 2010).  
192 Además se evaluó el porcentaje de germinación de las esporas para lo cual se preparó  
193 una suspensión de  $1 \times 10^6$  esporas mL<sup>-1</sup> como se describe en la prueba del efecto  
194 antifúngico del ácido elágico para la germinación. La aplicación de los tratamientos  
195 consistió en inocular 50 µL de la suspensión de esporas en distintas cajas de Petri con  
196 PDA; estas cajas se colocaron en una campana de flujo laminar durante 20 minutos a  
197 temperatura ambiente hasta que la suspensión se secó. Posteriormente, en cada caja,  
198 sobre el agar inoculado se vertió 5 mL de la emulsión del recubrimiento a base de  
199 quitosano-ácido elágico (Q: recubrimiento con quitosano al 1%; QAE3: recubrimiento  
200 con quitosano al 1% y ácido elágico al 0.3%; QAE5: recubrimiento con quitosano al 1%  
201 y ácido elágico al 0.5%; QAE7: recubrimiento con quitosano al 1% y ácido elágico al  
202 0.7%) y se dejaron secar en la campana de flujo laminar durante 90 minutos a  
203 temperatura ambiente. Las cajas se incubaron durante 7 h a  $25 \pm 2$  °C y se evaluó la

204 germinación de 100 esporas. A partir de la germinación de las esporas, se calculó el  
205 porcentaje de inhibición de la germinación (IG) mediante la fórmula descrita  
206 anteriormente (Sebti *et al.*, 2005).

207

### 208 **2.4.3 Evaluación *in vivo*.**

209 Se evaluó los recubrimientos de quitosano-ácido elágico en la severidad de la  
210 antracnosis en frutos de mango 'Manila'. Los mangos se cosecharon en una huerta  
211 comercial ubicada en los Ídolos, Actopan, Veracruz, durante el mes de mayo de 2015.  
212 Éstos se seleccionaron de acuerdo a la masa ( $272 \pm 11$  g), estado de madurez  
213 (fisiológica) y libre de daños físicos y patológicos. Los frutos se desinfectaron con una  
214 solución de hipoclorito de sodio al 2% y se les realizaron tres heridas con una aguja de  
215 disección estéril en la parte ecuatorial; el tamaño de la herida fue de aproximadamente  
216 2 mm de diámetro por 2 mm de profundidad. Las heridas se inocularon con 10  $\mu$ L de  
217 una suspensión de  $1 \times 10^6$  conidios  $\text{mL}^{-1}$  de la cepa de *C. gloeosporioides*, mencionada  
218 con anterioridad. Los mangos inoculados se dejaron a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$   
219 °C) durante 24 horas y después se sumergieron, durante 2 s en las emulsiones  
220 correspondientes a los tratamientos evaluados *in vitro* (Q: recubrimiento de quitosano al  
221 1%; QAE3: recubrimiento con quitosano al 1% y ácido elágico al 0.3%; QAE5:  
222 recubrimiento con quitosano al 1% y ácido elágico al 0.5%; QAE7: recubrimiento con  
223 quitosano al 1% y ácido elágico al 0.7%) (Cuadro 2). Posteriormente se almacenaron a  
224 13 °C durante 18 días y se determinó la el porcentaje de severidad de la enfermedad  
225 mediante el análisis de imágenes digitales (Rincón *et al.*, 2012; Saucedo *et al.*, 2015).  
226 Como testigo se utilizó mangos sin recubrimiento inoculados con el patógeno.

227 Las imágenes digitales de cada mango (tres imágenes por cada tratamiento) fueron  
228 obtenidas mediante una cámara digital FUJIFILM® modelo FinePixS1000fd. El formato  
229 de las imágenes fue en JPG (2736 de ancho x 3648 de alto) en el espacio de color  
230 RGB (Red, Gren, Blue) a 24 bits por pixel, con una resolución de 300 ppp (píxeles por  
231 pulgada). Las imágenes fueron calibradas (175.09 píxeles corresponden a 1 cm<sup>2</sup>) para  
232 la realización de análisis posteriores.

233 La determinación del porcentaje de severidad se desarrolló en dos etapas: en la  
234 primera etapa se realizó la binarización de la imagen (Process> Make binary), la  
235 selección de la región del mango mediante la función “Wand (Tolerance = 0 y modo  
236 Legacy)” y la determinación del área total del mango (ATM) mediante la función  
237 “Analyze particle”. En la segunda se usó la herramienta “Color Threshold” para realizar  
238 la segmentación de las imágenes en función de umbrales para canales de un espacio  
239 de color. El espacio de color RGB se convirtió al espacio de color HSB (Hue,  
240 Saturation, Brightness) para obtener una representación adecuada de los píxeles y con  
241 esto facilitar el análisis. Para la segmentación de cada imagen se usaron los valores  
242 siguientes: Hue = 0-255, Saturation = 0-255 y Brightness = 0-140.

243 El valor del área dañada de cada mango (ADM) se obtuvo mediante la secuencia de los  
244 comandos “Analyze/Analyze particle”. El porcentaje de severidad (S) se calculó  
245 mediante la ecuación siguiente:

$$S(\%) = \frac{ADM}{ATM} * 100$$

246 Dónde: ADM = área dañada del mango en cm<sup>2</sup>; ATM = área total del mago en cm<sup>2</sup>.

247 El procesamiento digital de las imágenes se realizó con el programa ImageJ version  
248 1.51e (National Institute of Health, Bethesda, MD, USA, 2016), este programa se  
249 encuentra disponible en <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>.

250

#### 251 **2.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico**

252 Para la evaluación del ácido elágico y los recubrimientos quitosano-ácido elágico *in*  
253 *vitro* e *in vivo*, los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar  
254 con tres repeticiones; la unidad experimental para la evaluación *in vitro* fue una caja de  
255 Petri y para la evaluación *in vivo* fue un mango. Cada experimento se realizó dos  
256 veces.

257 Los porcentajes IG e IE se homogenizaron con el uso de la transformación angular  
258 [arcoseno  $\sqrt{(\%)/100}$ ]. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y comparación  
259 de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) mediante el programa Statgraphic Plus versión 5.1  
260 (Statistical Graphics Corp, USA).

261

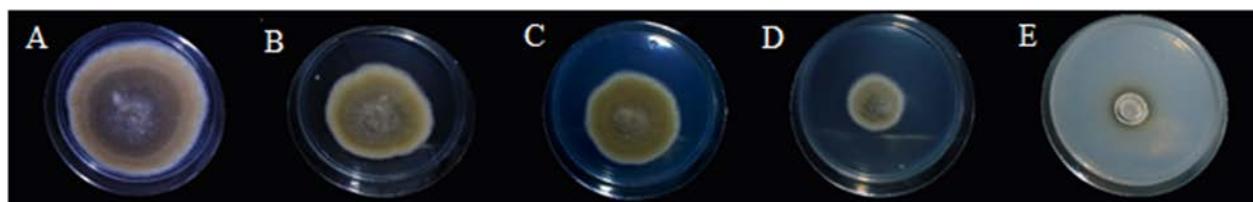
### 262 **2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 263 **2.5.1 Evaluación *in vitro***

264 Efecto antifúngico del ácido elágico. Las concentraciones de ácido elágico evaluadas  
265 inhibieron de forma diferencial el crecimiento de *C. gloeosporioides* (Figura 2.1). El  
266 ácido elágico, a una concentración de 0.7% inhibió mayormente (71.5%) ( $p \leq 0.05$ ) el  
267 crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* (Cuadro 2.1). Estos resultados son similares  
268 a los que obtuvieron Chen *et al.* (2013), quienes reportaron que concentraciones al  
269 0.5% de extractos fenólicos obtenidos de hojas de alcachofa inhibieron el 70% del

270 crecimiento micelial de *C. gloeosporioides*. Shan *et al.* (2013) reportaron que el extracto  
271 acuoso de especies del genero *Potentilla*, el cual contiene polifenoles, inhibió el 54.5%  
272 del crecimiento micelial de *C. gloeosporioides*.

273



274

275 Figura 2.1. Efectividad *in vitro* del ácido eláxico en el crecimiento micelial de *C.*  
276 *gloeosporioides*: A) Testigo, B) 0.1 %, C) 0.3 %, D) 0.5 % y F) 0.7 %.

277

278

279 La efectividad de los polifenoles (ácido eláxico, resveratrol, ácido cumárico, entre otros)  
280 en la inhibición del crecimiento micelial se debe a que éstos penetran las membranas  
281 del hongo y provoca que los grupos hidroxilos de los polifenoles desacoplen la  
282 fosforilación oxidativa (Lattanzio *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2013). La actividad antifúngica  
283 de los polifenoles también puede atribuirse a la inhibición enzimática debido a la unión  
284 de estos polifenoles con las proteínas (Maas *et al.*, 1991; Cowan, 1999).

285 El porcentaje de inhibición de la germinación de conidios y la esporulación de *C.*  
286 *gloeosporioides* mostró diferencia estadística ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos. Los  
287 tratamientos produjeron porcentajes de inhibición entre 15.3 a 64.5% para la  
288 germinación de conidios y 5.3 a 64.9% para la esporulación. Esta inhibición puede  
289 atribuirse a que el ácido eláxico actúa desnaturalizando las enzimas relacionadas con  
290 la germinación de esporas o interfiere con los aminoácidos asociados al proceso de  
291 germinación (Alves *et al.*, 2016).

292

293 Cuadro 2.1. Efecto de las concentraciones de ácido elágico sobre el porcentaje de  
 294 inhibición del crecimiento micelial (ICM), inhibición de la germinación (IG) e inhibición  
 295 de la esporulación (IE) de *C. gloeosporioides*.

Concentraciones Ácido elágico (%)	ICM <sup>z</sup>	IG <sup>z</sup>	IE <sup>z</sup>
0.1	41.2d	15.3c	9.7c
0.3	56.7c	15.8c	5.3d
0.5	61.2b	55.1b	33.6b
0.7	71.5 <sup>a</sup>	64.5a	64.9 <sup>a</sup>
Testigo	0 e	0 d	0 e

296 <sup>z</sup>Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de Tukey  
 297 (n = 3, p ≤ 0.05).  
 298

299 Los tratamientos que produjeron la mayor de inhibición de la germinación fueron las  
 300 concentraciones de 0.5 y 0.7%. La inhibición de la esporulación fue mayor (64.9%) a la  
 301 concentración de 0.7% de ácido elágico, mientras que las concentraciones de 0.1 y  
 302 0.3% produjeron porcentajes de inhibición más bajos (9.7 y 5.3%, respectivamente). De  
 303 esta manera se evidenció el efecto de dependencia con la concentración utilizada de  
 304 ácido elágico. El ácido elágico actúa sobre la membrana citoplasmática de los hongos,  
 305 produciendo cambios en su permeabilidad, y estos cambios ocasionan la liberación del  
 306 contenido celular y la desorganización de organelos, lo que provoca la inhibición del  
 307 micelio y la esporulación (Osorio *et al.*, 2010; Minova *et al.*, 2015).

308  
 309 **Efecto antifúngico de los recubrimientos.** El recubrimiento a base de quitosano fue  
 310 efectivo comparado con el testigo (Cuadro 2.2). Este resultado es consistente con los  
 311 hallazgos de Ali *et al.* (2010), quienes reportan 45% de inhibición del crecimiento  
 312 micelial de *C. gloeosporioides* al utilizar recubrimientos a base de quitosano. Se ha

313 documentado que esta efectividad obedece al carácter policatiónico del quitosano, que  
314 en contacto con las células del hongo, causa desorganización molecular y alteraciones  
315 estructurales del citoplasma y la membrana plasmática (Yang *et al.*, 2005; Aloui *et al.*,  
316 2014).

317 Los recubrimientos con ácido elágico mostraron mejor control del patógeno, en  
318 comparación con el recubrimiento de quitosano solo. Los recubrimientos de quitosano  
319 al 1% (Q) y de quitosano al 1% con ácido elágico al 0.3% (QAE3) fueron los menos  
320 efectivos ( $p \leq 0.05$ ) contra la inhibición del crecimiento micelial. El recubrimiento que  
321 produjo la mayor inhibición ( $p \leq 0.05$ ) de la germinación esporas fue el de quitosano al  
322 1% con ácido elágico al 0.7% (QAE7) (Cuadro 2.2). Sun *et al.* (2017), al evaluar  
323 recubrimientos a base de quitosano y extractos de polifenoles obtenidos de manzanas,  
324 encontraron que a medida que aumentaban la concentración del extracto, el  
325 crecimiento micelial de *C. fructicola* disminuía. Estos resultados son similares a los  
326 obtenidos en este estudio, ya que las concentraciones más altas de ácido elágico  
327 fueron las que promovieron los mayores porcentajes de inhibición de *C.*  
328 *gloeosporioides*.

329 La acción fungicida del recubrimiento a base de quitosano con puede deberse a que  
330 ambos, el quitosano y el ácido elágico ocasionan cambios estructurales en el micelio  
331 del hongo como adelgazamiento de hifas, cambios en la permeabilidad de la  
332 membrana y pérdida de componentes intracelulares (Aloui *et al.*, 2014).

333

334

335

336 Cuadro 2.2. Efecto de los recubrimientos en el porcentaje de inhibición del crecimiento  
 337 micelial (ICM) y la inhibición de la germinación (IG) de *C. gloeosporioides*.

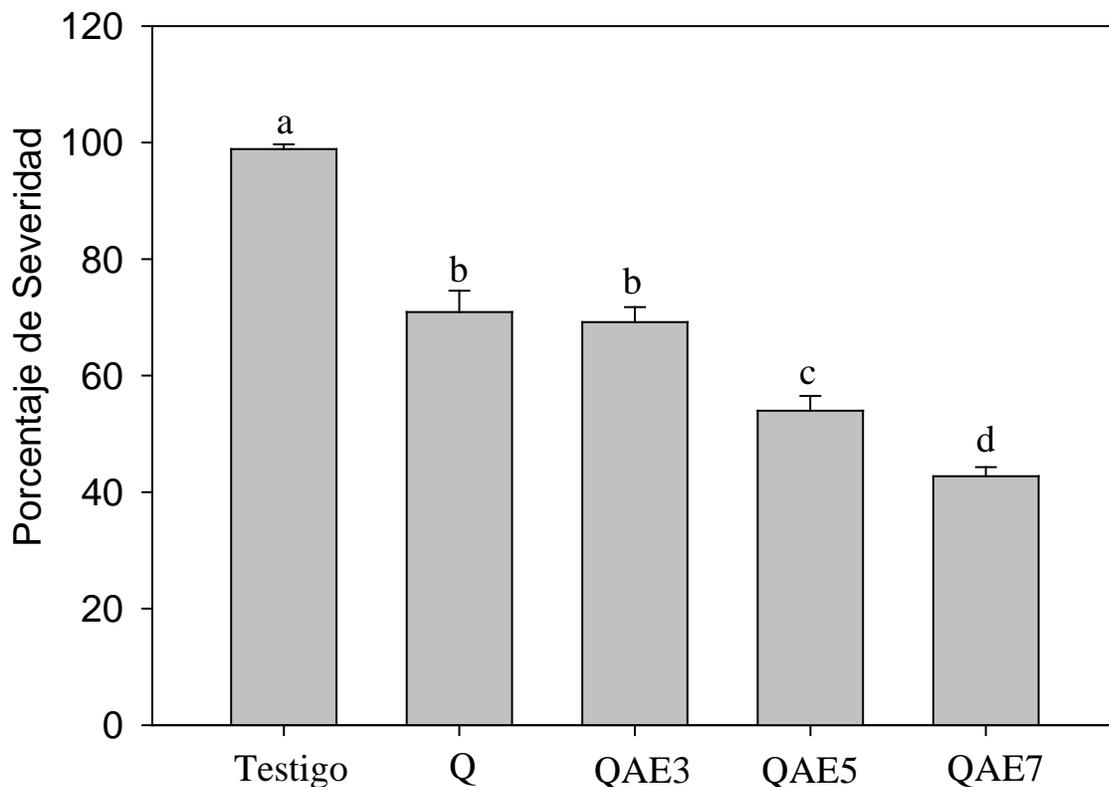
Tratamientos <sup>y</sup>	ICM <sup>z</sup>	IG <sup>z</sup>
Testigo positivo (Q)	42.6c	36.5d
QAE3	53.7b	44.8c
QAE5	61.0a	59.5b
QAE7	62.5a	72.1a
Testigo absoluto (PDA)	0 d	0 e

338 <sup>y</sup>Q: recubrimiento con quitosano al 1%; QAE3: recubrimiento con quitosano al 1% y ácido elágico al  
 339 0.3%; QAE5: recubrimiento con quitosano al 1% y ácido elágico al 0.5%; QAE7: recubrimiento con  
 340 quitosano al 1% y ácido elágico al 0.7%. <sup>z</sup>Letras diferentes en la misma columna indican diferencia  
 341 significativa Tukey (n = 3, p ≤ 0.05).  
 342

### 343 2.5.2 Evaluación *in vivo*

344 Existieron diferencias significativas entre tratamientos para el porcentaje de severidad  
 345 de *C. gloeosporioides* en los frutos ( $p \geq 0.05$ ) (Figura 2.2). El testigo registró los  
 346 porcentajes de severidad más altos (98.8), seguido del tratamiento Q (70.9) (Figura  
 347 2.2). Zhu *et al.* (2008) reportaron resultados similares de severidad (72%) en mangos  
 348 con recubrimientos al 1% de quitosano; sin embargo, la actividad del quitosano es  
 349 distinta en otros patógenos. Así, López *et al.* (2013) registraron una severidad de 58%  
 350 en mangos cubiertos con quitosano al 1% e inoculados con *Alternaria alternata*.  
 351 El tratamiento más efectivo fue el QAE7 con 42.7% de severidad, seguido del QAE5  
 352 con 53.9% (Figura 2.2). Los síntomas y el grado de severidad de la enfermedad en los  
 353 frutos se observa en la Figura 2.3. A mayor concentración de ácido elágico en los  
 354 recubrimientos, menor severidad de la enfermedad. El testigo presenta el mayor daño  
 355 en contraste con el tratamiento QAE7. Esta disminución de la severidad puede deberse  
 356 a que el ácido elágico inhibe las enzimas extracelulares del hongo y provoca la no

357 degradación de sustancias complejas a compuestos de bajo peso molecular, los cuales  
358 son precursores para la síntesis de sustancias requeridas para el desarrollo del hongo  
359 (Lattanzio *et al.*, 2006).



360  
361 Figura 2.2 Porcentaje de severidad de la antracnosis en frutos de mango con  
362 recubrimientos de quitosano y ácido elágico. Los datos representan la media  $\pm$   
363 desviación estándar. Barras con las mismas letras no hay diferencia significativa ( $n = 3$ ,  
364  $p \geq 0.05$ ). Q: recubrimiento con quitosano al 1%; QAE3: recubrimiento con quitosano al  
365 1% y ácido elágico al 0.3%; QAE5: recubrimiento con quitosano al 1% y ácido elágico  
366 al 0.5%; QAE7: recubrimiento con quitosano al 1% y ácido elágico al 0.7%.  
367

368 La adición de un agente antimicrobiano a los recubrimientos de quitosano también ha  
369 funcionado como una opción para combatir la antracnosis; por ejemplo, con el uso de

370 un recubrimiento de quitosano (0.75%) y extracto de *Mentha piperita* al 1.25% en frutos  
371 de mango inoculados con *C. fructicola*, se obtuvo un porcentaje de severidad de 53.7  
372 (Rima *et al.*, 2017); este resultado es similar al registrado en el tratamiento QAE5  
373 (53.9%) del presente estudio. Los recubrimientos de quitosano y ácido elálgico tuvieron  
374 un efecto en el grado de severidad debido posiblemente a que actuaron sobre la  
375 germinación de esporas, según lo observado en la prueba *in vitro*. Según Bautista *et al.*  
376 (2003), otros eventos fisiológicos podrían estar involucrados en el control de la  
377 antracnosis durante el almacenamiento de los frutos. Además, es importante considerar  
378 el tiempo de desarrollo de la enfermedad ya que éste determinará la calidad y la vida  
379 de anaquel del fruto.



380  
381 Figura 2.3. Expresión y severidad del síntoma de la antracnosis 18 días después de la  
382 inoculación en mangos con recubrimientos de quitosano y ácido elálgico, vía análisis  
383 digital de imágenes. Q: recubrimiento con quitosano al 1%; QAE3: recubrimiento con  
384 quitosano al 1% y ácido elálgico al 0.3%; QAE5: recubrimiento con quitosano al 1% y  
385 ácido elálgico al 0.5%; QAE7: recubrimiento con quitosano al 1% y ácido elálgico al  
386 0.7%.  
387

## 388 2.6 CONCLUSIONES

389 Tanto el ácido elálgico como los recubrimientos de quitosano-ácido elálgico inhibieron el  
390 crecimiento micelial, la germinación y la esporulación de *C. gloeosporioides in vitro*. Sin

391 embargo, la efectividad de estos está relacionada con los estados de desarrollo del  
392 patógeno (crecimiento micelial, esporulación y germinación) y de las concentraciones  
393 del agente microbiano ya que la adición de más producto no implica mayor efecto en el  
394 patógeno.

395 Los recubrimientos a base de quitosano-ácido elágico también fueron efectivos en la  
396 severidad de la antracnosis; no obstante, se requiere de estudios relacionados con  
397 otros factores que incidan en ésta. Por lo tanto, resulta necesario conocer la interacción  
398 de las propiedades antifúngicas del ácido elágico con respecto al quitosano para  
399 contribuir y mejorar la vida de anaquel de los productos hortofrutícolas.

400

## 401 **2.7 LITERATURA CITADA**

402 Ali A., Muhammad K., Sijam Y., Siddiqui Y. 2010. Potential of chitosan coating in  
403 delaying the postharvest anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) of  
404 Eksotika II papaya. International Journal of Food Science Technology 45: 2134-  
405 2140.

406  
407 Aloui H., Khwaldia K., Licciardello F., Mazzaglia A., Muratore G., Hamdi M., Restuccia  
408 C. 2014. Efficacy of the combined application of chitosan and Locust Bean Gum  
409 with different citrus essential oils to control postharvest spoilage caused by  
410 *Aspergillus flavus* in dates. International Journal of Food Microbiology 170: 21-28.

411  
412 Alves C., Marcon A., García V., Monteiro K., Bataglion G., Eberlin M., Duarte M. 2016.  
413 Phytochemical analysis and antifungal activity of extracts from leaves and fruit  
414 residues of Brazilian savanna plants aiming its use as safe fungicides. Natural  
415 Products and Bioprospecting 6: 195-204.

416  
417 Barnett H.L., Hunter B.B. 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. Ed. Minenesota  
418 US: Burgess Publishing Company. New York., USA. 241p.

419  
420 Bautista S., Hernández M., Bosquez E., Wilson C. 2003. Effects of chitosan and plant  
421 extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and  
422 quality of papaya fruit. Crop Protection 22: 1087-1092.

423

- 424 Carrillo J., García R., Muy MD., Sañudo A., Márquez I., Allende R. 2005. Control  
425 Biológico de antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] y  
426 su efecto en la calidad poscosecha del mango (*Mangifera indica* L.) en Sinaloa,  
427 México. Revista Mexicana de Fitopatología 23: 24-32.  
428
- 429 Chen F., Long X., Yu M., Liu Z., Liu L., Shao H. 2013. Phenolics and antifungal  
430 activities analysis in industrial crop Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)  
431 leaves. Industrial Crops and Products 47: 339-345.  
432
- 433 Correa P.Z., Bautista B.S., Valle M.M., Hernández L.M. 2017. The effect of  
434 Nanostructured Chitosan and Chitosan-thyme Essential Oil Coatings on  
435 *Colletotrichum gloeosporioides* Growth in vitro and on cv Hass Avocado and Fruit  
436 Quality. Journal of Phytopathology 165: 297-305.  
437
- 438 Cowan M. 1999. Plant products as an antimicrobial agents. Clinical Microbiology  
439 Reviews 10: 564-582.  
440
- 441 Guerrero R.E., Solís G.S., Hernández C.D., Flores O.A., Sandoval L.V. 2007. Actividad  
442 biológica *in vitro* de extractos de *Flourensia cernua* D.C. en patógenos de  
443 postcosecha: *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) Keissl., *Colletotrichum gloeosporioides*  
444 (Penz.) Penz. Sacc. y *Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc. Revista Mexicana de  
445 Fitopatología 25: 48-53.  
446
- 447 Gutiérrez A.O., Nieto A.D., Téliz O.D., Zavaleta M.E., Delgadillo S.F., Vaquera H.H.  
448 2003. Resistencia a Benomil y Tiabendazol en aislamientos de *Colletotrichum*  
449 *gloeosporioides* obtenidos de mango (*Mangifera indica* L.) en cinco regiones de  
450 México. Revista Mexicana de Fitopatología 21: 260-266.  
451
- 452 Jovanovic G., Klaus A., Niksic M. 2016. Antimicrobial activity of chitosan coatings and  
453 films against *Listeria monocytogenes* on black radish. Revista Argentina de  
454 Microbiología 48: 128-136.  
455
- 456 Khanbabaee K., Van Ree T. 2001. Tannins: Classification and Definition. Natural  
457 Products Report 18: 641–649.  
458
- 459 Lattanzio V., Lattanzio V., Cardinali A. 2006. Role of phenolics in the resistance  
460 mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. pp. 35-38. *In*:  
461 Phytochemistry: Advances in Research. Research Signpost. Kerala, India. 661 p.  
462
- 463 López M.L., Gutiérrez M.P., Bautista B.S., Jiménez G.L.F., Zavaleta M.H.A. 2013.  
464 Evaluación de la actividad antifúngica del quitosano en *Alternaria alternata* y en la  
465 calidad del mango “Tommy Atkins” durante el almacenamiento. Revista Chapingo  
466 Serie Horticultura 19: 315-331.  
467

- 468 Maas J., Galletta G.J., Stoner G.D. 1991. Ellagic acid, an anticarcinogen in fruits,  
469 especially in strawberries: A review. HortScience 26: 10-14.  
470
- 471 Minova S., Sediçna R., Voitkâne S., Metla Z., Daugavietis M., Jankevica L. 2015.  
472 Impact of pine (*Pinus sylvestris* L.) and spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) bark  
473 extracts on important strawberry pathogens. Proceedings of the Latvian Academy  
474 of Sciences 69: 62-67.  
475
- 476 Osorio E., Flores M., Hernández D., Ventura J., Rodríguez R., Aguilar C. 2010.  
477 Biological efficiency of polyphenolic extracts from pecan nuts shell (*Carya*  
478 *Illinoensis*), pomegranate husk (*Punica granatum*) and creosote bush leaves  
479 (*Larrea tridentata* Cov.) against plant pathogenic fungi. Industrial Crops and  
480 Products 31: 153-157.  
481
- 482 Perdones A., Vargas M., Atarés L., Chiralt A. 2014. Physical, antioxidant and  
483 antimicrobial properties of chitosan-cinnamon leaf oil films as affected by oleic  
484 acid. Food Hydrocolloids 36: 256-264.  
485
- 486 Ramos M., Bosquez E., Hernández J., Zavala G., Terres E., Alía I., Barrera L.  
487 Hernández M., Bautista S. 2012. Use of chitosan-based edible coatings in  
488 combination with other natural compounds, to control *Rhizopus stolonifer* and  
489 *Escherichia coli* DH5 $\alpha$  in fresh tomatoes. Crop Protection 38: 1-6.  
490
- 491 Rima K., Ramos L., Amorim S., Saraiva M., Leite E. 2017. Synergistic mixtures of  
492 chitosan and *Mentha piperita* L. essential oil to inhibit *Colletotrichum* species and  
493 anthracnose development in mango cultivar Tommy Atkins. Food Microbiology 66:  
494 96-103.  
495
- 496 Rincón N., Olarte M., Pérez J. 2012. Determinación del área foliar en fotografías  
497 tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional.  
498 Revista Facultad Nacional de Agronomía 65: 6399-6405.  
499
- 500 Rongai D., Pulcini P., Pesce B., Milano F. 2016. Antifungal activity of pomegranate peel  
501 extract against fusarium wilt tomato. European Journal of Plant Pathology 147:  
502 229-238.  
503
- 504 Sánchez D.D., Bautista B.S., Castillo P. 2007. El efecto del quitosano en el desarrollo y  
505 morfología de *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. Anales de Biología 29: 23-22.  
506
- 507 Shan W., Dong W., Wen P., Deng L. 2013. Phytochemical profiles, antioxidant and  
508 antimicrobial activities of three *Potentilla* species. Complementary and Alternative  
509 Medicine 13: 2-11.  
510

- 511 Saucedo C., Lugo G., Villaseñor H., Partida L., Reyes A. 2015. Un método preciso para  
512 medir severidad de roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriksson) en trigo. Revista  
513 Fitotecnia Mexicana 38: 427-434.  
514
- 515 Sebti I., Martial A., Carnet A., Grelier S., Coma S. 2005. Chitosan Polymer as Bioactive  
516 Coating and Film against *Aspergillus niger* Contamination. Food Microbiology and  
517 Safety 70: M100-M-104.  
518
- 519 Seeram N., Lee R., Heber D. 2005. Rapid large scale purification of ellagitannins from  
520 pomegranate husk, a by-product of the commercial juice industry. Separation and  
521 Purification Technology 41:49–55.  
522
- 523 Soylu E.M., Kurt S., Soylu S. 2010. *In vitro* and *in vivo* antifungal activities of the  
524 essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis*  
525 *cinerea*. International Journal of Food Microbiology 143: 183-189.  
526
- 527 Sun L., Sun J., Chen L., Niu P., Yang X., Guo P. 2017. Preparation and characterization  
528 of chitosan film incorporated with thinned young apple polyphenols as an active  
529 packaging material. Carbohydrate Polymers 163: 81-91.  
530
- 531 Vattem D.A., Shetty K. 2003. Ellagic acid production and phenolic antioxidant activity in  
532 cranberry pomace (*Vaccinium macrocarpon*) mediated by *Lentinus edodes* using a  
533 solid-state system. Process Biochemistry  
534 39: 367-379.  
535
- 536 Ventura S.J., Belmares C.R., Aguilera C.A., Contreras E.J., Rodríguez H.R., Aguilar  
537 C.N. 2007. Fungal biodegradation of tannins from creosote bush (*Larrea tridentata*  
538 cov.) and tar bush (*Flourensia cernua*) for gallic and ellagic acids production. Food  
539 Technology and Biotechnology 49: 256-267.  
540
- 541 Yang T., Chou C., Li C. 2005. Antibacterial activity of *N*-alkylated disaccharide chitosan  
542 derivatives. International Journal of Food Microbiology 97: 237-245.  
543
- 544 Yenjit P., Issarakraisila M., Intana W., Chantrapromma K. 2010. Fungicidal activity of  
545 compounds extracted from the pericarp of *Areca catechu* against *Colletotrichum*  
546 *gloeosporioides* *in vitro* and in mango fruit. Postharvest Biology and Technology  
547 55: 129-132.  
548
- 549 Zhou Y., Zhang L., Zeng K. 2016. Efficacy of *Pichia membranaefaciens* combined with  
550 chitosan against *Colletotrichum gloeosporioides* in citrus fruits and possible modes  
551 of action. Biological Control 96: 39-47.  
552
- 553 Zhu X., Wang Q., Cao J., Jiang W. 2008. Effects of chitosan coating on postharvest  
554 quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruits. Journal of Food  
555 Processing and Preservation 32: 770–784.

1                   **CAPITULO III. DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS**  
2                   **COMESTIBLES DE QUITOSANO-ÁCIDO ELÁGICO Y SU APLICACIÓN EN MANGO**  
3                   **MANILA.**

4                   DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF EDIBLE COATINGS OF CHITOSAN-  
5                   ELAGIC ACID AND ITS APPLICATION IN MANILA MANGO

6  
7                   **Ramón-Canul, L.<sup>1</sup>; Soto-Estrada, A.<sup>1\*</sup>; López-Collado, J.<sup>1</sup>; Arévalo-Galarza, M. L.<sup>2</sup>;**  
8                   **García-Galindo, H.S.<sup>3</sup>; Figueroa-Rodríguez, K.<sup>4</sup>;**

9                   <sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km. 88.5 Carretera Federal Xalapa-  
10                   Veracruz-, Predio Tepetates C.P. 91690, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.

11                   <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 35.5 Carretera México-Texcoco

12                   C.P. 56230, Montecillo, Edo. de México. <sup>3</sup>Unidad de Investigación y Desarrollo en

13                   Alimentos, Instituto Tecnológico de Veracruz, Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779,

14                   C.P. 91897, Veracruz, México. <sup>4</sup>Colegio de Postgraduados, campus Córdoba. Km. 348

15                   Carretera Federal Córdoba-Veracruz. C.P. 56230, Municipio de Amatlán de los Reyes,

16                   Veracruz.

17                   **\*Autor de correspondencia:** alejandras@colpos.mx

18  
19                   **3.1 RESUMEN**

20                   El mango ‘Manila’ tiene una vida de anaquel muy corta debido a la pérdida significativa  
21                   de firmeza. Además, el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* ocasiona daños que  
22                   reducen la calidad del fruto en la etapa postcosecha. Actualmente se han desarrollado  
23                   métodos para alargar la vida de anaquel, dentro de ellos están las películas

24 comestibles con agentes biocidas de origen natural. El objetivo de este trabajo fue  
25 caracterizar una película comestible a base de quitosano-ácido elágico y evaluar su  
26 potencial sobre el control de la antracnosis y vida de anaquel de mango Manila. Las  
27 películas se elaboraron utilizando quitosano al 1% y ácido elágico al 0.3, 0.5, 0.7%. La  
28 caracterización de éstas se realizó con base en sus propiedades ópticas,  
29 microestructurales, de barrera y mecánicas. El efecto de los recubrimientos se  
30 determinó en las variables fisicoquímicas y severidad en frutos de mango almacenados  
31 a 13 y 25 °C. Las películas presentaron buenas propiedades mecánicas y de barrera.  
32 Los datos de las variables fisicoquímicas indicaron que la vida de anaquel de los  
33 mangos fue de 9 días a 13 °C y de seis días a 25 °C. Los recubrimientos redujeron la  
34 severidad de la antracnosis de 29 a 57% a 13 °C; sin embargo, a 25 °C los  
35 recubrimientos no tuvieron efecto.

36 **Palabras clave:** propiedades ópticas, propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor  
37 de agua, análisis fisicoquímicos.

38

### 39 **3.2 ABSTRACT**

40 Mango cv. Manila has a short shelf life due to the significant loss of firmness. Besides,  
41 *Colletotrichum gloeosporioides*, a fungus plant pathogen, causes damages that  
42 decrease fruit quality during postharvest season. Currently, new methods have been  
43 developed to extend the shelf life; one of them is the use of edible coatings mixed with  
44 natural biocides. The objective was to characterize a coating based on chitosan-ellagic  
45 acid and its effect on anthracnose control and shelf life of mango cv. Manila. Coatings  
46 were prepared using 1% chitosan combined with 0.3, 0.5, or 0.7% of ellagic acid.

47 Coatings were characterized according to their optical, microstructural, barrier and  
48 mechanical properties. The effect of the coatings on physicochemical variables and fruit  
49 severity of mangoes stored at 13 and 25 °C was also evaluated. The finished coatings  
50 showed suitable mechanical and barrier properties. Data of physicochemical variables  
51 indicated that at 13 and 25°C, shelf life of mangos lasted 9 and 6 days, respectively.  
52 Disease severity decreased 29 to 57% on coated mangoes; however, at 25 °C, coatings  
53 had no effect on disease severity.

54 **Keywords:** optical properties, mechanical properties, water vapor permeability,  
55 physicochemical analysis.

56

### 57 **3.3 INTRODUCCIÓN**

58 El mango (*Mangifera indica* L.), variedad Manila, es una fruta tropical que los  
59 consumidores mexicanos prefieren debido a su color atractivo, buen sabor y un alto  
60 contenido de compuestos bioactivos (ácido ascórbico,  $\beta$ -carotenos y compuestos  
61 fenólicos) (Kim *et al.*, 2007; Ulloa *et al.*, 2009). Sin embargo, esta variedad tiene una  
62 vida de anaquel muy corta debido a la pérdida significativa de firmeza. Además, la  
63 incidencia de la antracnosis, enfermedad causada por el hongo *Colletotrichum*  
64 *gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. reduce la calidad de la fruta durante el  
65 almacenamiento lo que limita su comercialización (Acosta *et al.*, 2000; Pornchan *et al.*,  
66 2016).

67 A la fecha se han desarrollado diferentes tratamientos postcosecha para mejorar la  
68 calidad del fruto y alargar su vida de anaquel; entre éstos destacan las bajas  
69 temperaturas, inhibidores de la síntesis del etileno, fungicidas, irradiación ionizante,

70 atmosferas modificadas y películas comestibles (Martínez-Ferrer *et al.*, 2002; Luna *et*  
71 *al.* 2006; Muy-Rangel *et al.* 2009; Moalemiyan *et al.*, 2012; Vargas-Ortiz *et al.*, 2013;  
72 Kim *et al.*, 2015).

73 Las películas comestibles constituyen una opción viable, pues son de fácil aplicación y  
74 de costo relativamente bajo; crean una atmósfera modificada alrededor del fruto y con  
75 ello reducen la intensidad respiratoria, producción de etileno y pérdida de agua  
76 (Velickova *et al.*, 2013; Pornchan *et al.*, 2016). Otras ventajas son la retención de la  
77 firmeza y el control del crecimiento microbiano (Fan *et al.*, 2009; García *et al.*, 2010).  
78 Entre los polímeros más utilizados para elaborar películas están los derivados de  
79 celulosa, las ceras, el alginato, los ácidos grasos, el agar, los acil-gliceroles, el almidón  
80 y el quitosano (Bosquez-Molina *et al.*, 2003; Kokoszka *et al.*, 2010; Moreira *et al.*, 2011;  
81 Sánchez-González *et al.*, 2010). Las películas elaboradas con quitosano presentan  
82 buena elasticidad, transparencia, propiedades mecánicas y barrera selectiva para el  
83 intercambio de gases (Mattiuz *et al.*, 2015). Además, presentan actividad  
84 antimicrobiana contra diversos microorganismos (Sánchez-Domínguez *et al.*, 2007;  
85 Perdonés *et al.*, 2014; Jovanovic *et al.*, 2016). No obstante, la actividad antimicrobiana  
86 de las películas de quitosano es limitada para ciertos productos alimenticios.

87 Para mejorar la eficacia de la película en contra de diversos microorganismos se han  
88 incorporado sustancias de origen natural como aceites esenciales, ácidos orgánicos y  
89 sus sales, compuestos fenólicos, entre otros con la finalidad de extender la vida de  
90 anaquel del alimento (Falguera *et al.*, 2011; Sánchez-González *et al.*, 2010). La  
91 incorporación de un agente antifúngico al quitosano podría ampliar su espectro de  
92 acción. En este sentido, el ácido elágico es una buena opción debido a que es un

93 polifenol de origen vegetal que ha sido estudiado principalmente, por su efecto  
94 antioxidante, antimutagénico y antimicrobiano (Khanbabaee y Van Ree, 2001; Ventura-  
95 Sobrevilla *et al.*, 2007). Los estudios relacionados con su acción antifúngica son  
96 escasos pero se ha demostrado su efectividad en hongos como *Fusarium oxysporum*,  
97 *Colletotrichum coccodes* y *Colletotrichum truncatum* (Osorio *et al.* 2010; Rongai *et al.*,  
98 2016). Por lo tanto, se considera que los recubrimientos a base de quitosano con ácido  
99 elálgico tendrán un efecto en la calidad y vida de anaquel del mango 'Manila'.  
100 Es por ello que los objetivos de esta investigación fueron: 1) Caracterizar las  
101 propiedades ópticas, microestructurales, de barrera y mecánicas de los recubrimientos  
102 elaborados a base de quitosano y diferentes concentraciones de ácido elálgico y 2)  
103 Evaluar el efecto de estos recubrimientos en las características físicas y bioquímicas  
104 del mango 'Manila', así como su control sobre la antracnosis.

105

## 106 **3.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### 107 **3.4.1 Preparación de las películas**

108 Se utilizó quitosano de peso molecular medio (75-85% de grado de desacetilación y  
109 viscosidad de 200-800 cps) y diferentes concentraciones de ácido elálgico (0.3, 0.5 y  
110 0.7%) (Sigma Aldrich®, Missouri, USA). Estas concentraciones se seleccionaron en  
111 función del resultado del porcentaje de inhibición del crecimiento micelial evaluado  
112 previamente. Para elaborar los recubrimientos, inicialmente se preparó una solución de  
113 quitosano al 1%, mediante la disolución del mismo en una solución de ácido acético al  
114 1%, con agitación constante durante 24 h a temperatura ambiente. La solución se  
115 ajustó a un pH de 5.6 utilizando NaOH (1N); se le adicionó glicerol (0.3 %) y cera de

116 abeja (0.1 %); y se homogenizó durante 15 minutos, hasta obtener una emulsión. Esta  
117 emulsión se desgasificó al vacío para eliminar las burbujas de aire disueltas y se  
118 separó en tres vasos de precipitado. A cada vaso se le agregó la respectiva  
119 concentración de ácido elágico, se homogenizó por 10 min y se dejó reposar durante  
120 24 h (Sebti *et al.*, 2005; Ramos *et al.*, 2012). Para elaborar las películas se vertieron 15  
121 mL de solución formadora de película en placas de plástico de polietileno de baja  
122 densidad y se secaron en un horno de convección (Felisa<sup>®</sup>, México) por 24 h a 35 °C.  
123 De las concentraciones del quitosano y el ácido elágico se obtuvieron cuatro  
124 tratamientos: QAE3: quitosano + ácido elágico al 0.3%; QAE5: quitosano + ácido  
125 elágico al 0.5%; QAE7: quitosano + ácido elágico al 0.7% y el testigo fue una película  
126 de quitosano sin ácido elágico. Cada tratamiento tuvo cinco repeticiones. Las películas  
127 se almacenaron a  $25 \pm 2$  °C durante dos días y posteriormente se realizó la  
128 caracterización de las propiedades ópticas, de barrera, mecánicas y microestructurales  
129 (Alvarado *et al.*, 2012; Sun *et al.*, 2014).

130

### 131 **3.4.2 Caracterización de las propiedades ópticas de las películas**

132 Grosor de las películas. Para medir el grosor de las películas, éstas se cortaron en  
133 círculos de un centímetro de diámetro y cada círculo se midió aleatoriamente en cinco  
134 puntos diferentes (Bosquez-Molina *et al.*, 2003) con ayuda de un micrómetro (precisión  
135 de 0.001 mm) (Mitutoyo<sup>®</sup>, México).

136 Transparencia. Esta prueba se realizó de acuerdo a la técnica ASTM D1746-97 (ASTM,  
137 2000). Las películas se cortaron en forma rectangular (5 x 30 mm) y se colocaron en el  
138 interior de la celda de un espectrofotómetro UV-Vis marca Thermo Scientific

139 (Massachusetts, Estados Unidos de América). La transparencia se calculó de acuerdo  
140 a la ecuación de Han y Floros (1997).

$$\text{Transparencia} = \frac{A_{600}}{S}$$

141 Dónde:  $A_{600}$  es la absorbancia a 600 nm y S es el espesor de la película.

142 Brillo. La prueba de brillo se realizó con un brillómetro (Novo-Gloss<sup>®</sup>, Reino Unido) 60°  
143 de ángulo sencillo. Para ello, se procedió a cortar las películas en forma rectangular (25  
144 x 75 mm) y se leyeron directamente sobre la superficie de la película en un ángulo de  
145 incidencia de 60°. Los resultados se expresaron en unidades de brillo (GU) (ASTM,  
146 1999; Villalobos *et al.*, 2005).

147 Color. El color se determinó de acuerdo a la metodología de Alvarado *et al.* (2012).  
148 Para ello se empleó un colorímetro marca HunterLab (Virginia, Estados Unidos de  
149 América). Los parámetros de color se midieron aleatoriamente en cinco zonas  
150 diferentes de las películas.

151

### 152 **3.4.3 Caracterización de las propiedades de barrera**

153 Capacidad de adsorción de agua. La capacidad de adsorción de agua (por sus siglas  
154 en inglés, WSC) se evaluó pesando y sumergiendo las películas en un buffer de fosfato  
155 salino (pH = 7.4). Primeramente, las películas (secas) se pesaron en una báscula  
156 analítica (Ohaus<sup>®</sup>, México) y posteriormente se sumergieron en la solución de buffer  
157 durante 30 min. El exceso de agua se quitó con un papel filtro e inmediatamente la  
158 película se pesó utilizando una balanza analítica (Alvarado *et al.*, 2012). El porcentaje  
159 de adsorción de agua se calculó a partir de la ecuación reportada por Caykara y Turan  
160 (2006):

$$A = \frac{WS - WD}{WD} * 100$$

161 Dónde: WS es el peso de la película después de ser sumergida en la solución de buffer  
162 y WD es el peso de la película seca.

163 Permeabilidad al vapor de agua. Esta variable se determinó de acuerdo a la  
164 metodología de la ASTM (1995) y Bosquez-Molina *et al.* (2003). A un vial se le colocó  
165 una solución sobresaturada de nitrato de potasio, para posteriormente colocar en la  
166 parte superior del vial (celda de prueba) una sección circular de película y fijarla con  
167 parafilm para generar una humedad relativa constante ( $HR_1 = 93\%$ ).

168 El vial se colocó en un desecador que contenía una solución saturada de cloruro de  
169 sodio, la cual generó una humedad relativa constante ( $HR_2 = 75\%$ ). Debido al gradiente  
170 de presión existente, el vapor de agua se difundió a través de la membrana,  
171 observándose una pérdida de peso en la sal de mayor humedad relativa, durante el  
172 tiempo de la prueba. Cuando el peso de la sal de menor humedad relativa alcanzó el  
173 equilibrio, se obtuvo la velocidad de transmisión del vapor de agua. La permeabilidad al  
174 vapor de agua de la película se calculó con la ecuación siguiente (Bosquez-Molina *et*  
175 *al.*, 2003; Gennadios *et al.*, 1994):

$$WVP = \frac{WVTR * L}{\Delta Pa}$$

176

177 Dónde: WVP es la permeabilidad al vapor de agua; WVTR es la velocidad de  
178 transmisión de vapor de agua; L es el grosor de la película;  $\Delta Pa$  es la diferencia de  
179 presión parcial a través de la película.

180

#### 181 **3.4.4 Caracterización de las propiedades mecánicas**

182 Las propiedades mecánicas evaluadas fueron resistencia a la tensión y porcentaje de  
183 elongación. Los recubrimientos se cortaron en segmentos de 10 mm de ancho y 80 mm  
184 de largo. Para medir ambas propiedades se empleó un analizador de textura marca  
185 INSTRON (Massachusetts, Estados Unidos de América) con una celda de carga de  
186 500 kg<sub>f</sub>, una distancia entre mordazas de 50 mm y una velocidad de prueba de 50  
187 mm/min (Sothornvit y Rodsamran, 2008).

188

#### 189 **3.4.5 Caracterización de las propiedades microestructurales**

190 Las propiedades microestructurales de los recubrimientos se realizó por microscopia  
191 electrónica de barrido para visualizar la morfología de la superficie y sección  
192 transversal del recubrimiento. Las muestras se cortaron en forma cuadrada (4 x 4 mm)  
193 y se fijaron con cinta de carbono doble cara. Se observaron a 1000x (10 µm) en una  
194 escala de grises y utilizando un voltaje de 20 kV (Alvarado *et al.*, 2012).

195

#### 196 **3.4.6 Aplicación de los recubrimientos en Mango**

197 Los mangos variedad Manila se obtuvieron de una huerta comercial ubicada en los  
198 Ídolos, Actopan, Veracruz (96° 31' 0.0" de longitud oeste y 19° 24' 31" de latitud norte),  
199 durante el mes de mayo de 2015. Éstos se seleccionaron de acuerdo al tamaño (272 ±  
200 11 g), estado de madurez (madurez fisiológica) y libre de daños físicos y patológicos.  
201 Los mangos se lavaron y se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio (2  
202 %), y se secaron a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) por 12 h. Después, mediante  
203 inmersión de los frutos se aplicaron los recubrimientos a base de quitosano-ácido

204 elágico durante un tiempo no mayor a 2 s; posteriormente, los frutos se secaron a  
 205 temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) por 24 h y se almacenaron a 13 y 25 °C durante 18  
 206 días (Robles-Sánchez *et al.*, 2012).

207 Los tratamientos se constituyeron en función de dos factores, el ácido elágico y la  
 208 temperatura. Para el ácido elágico se consideraron tres niveles (0.3, 0.5 y 0.7%),  
 209 mientras que para la temperatura fueron dos niveles (13 y 25 °C). En total se evaluaron  
 210 10 tratamientos (42 frutos cada uno) (Cuadro 3.1), con tres repeticiones; la unidad  
 211 experimental fue de seis mangos.

212

213 Cuadro 3.1. Tratamientos utilizados para los recubrimientos comestibles a 13 y 25 °C.

Número de tratamiento	Tratamiento
T <sub>1</sub>	Testigo + 13 °C
T <sub>2</sub>	RQ + 13°C
T <sub>3</sub>	RQAE3 + 13°C
T <sub>4</sub>	RQAE5 + 13°C
T <sub>5</sub>	RQAE7 + 13°C
T <sub>6</sub>	Testigo + 25 °C
T <sub>7</sub>	RQ + 25°C
T <sub>8</sub>	RQAE3 + 25°C
T <sub>9</sub>	RQAE5 + 25°C
T <sub>10</sub>	RQAE7 + 25°C

214 RQ: recubrimiento a base de quitosano; RQAE3, RQAE5, RQAE7: recubrimiento a base de quitosano  
 215 con ácido elágico al 0.3, 0.5 y 0.7%, respectivamente; Testigo: mango sin recubrimiento

216

217

218 Las variables se midieron cada tres días durante el periodo de almacenamiento; el  
 219 primer día de almacenamiento se consideró como el día cero durante el cual se realizó  
 220 la primera medición. Cada tres días, seis frutos de cada tratamiento se sacaban para

221 evaluar las variables fisicoquímicas y severidad, las cuales se describen a  
222 continuación.

223

### 224 **3.4.7 Variables fisicoquímicas**

225 Pérdida de peso. La pérdida fisiológica de peso se determinó mediante el pesado  
226 directo de cada uno de los frutos en una balanza electrónica (Ohaus<sup>®</sup>, México), para lo  
227 cual se consideró como pérdida del peso total a la diferencia entre el peso de la fruta  
228 inicial y final durante el intervalo de almacenamiento (Luna *et al.* 2006; López-Mora *et*  
229 *al.*, 2012).

230 Determinación de la firmeza. Se analizó la resistencia a la penetración en la cáscara de  
231 los frutos. La medición se realizó en tres diferentes partes del fruto utilizando un  
232 penetrometro (Aname<sup>®</sup> modelo FTA, Madrid, España) (Luna *et al.* 2006; Vargas-Ortiz *et*  
233 *al.*, 2013).

234 Determinación del color. Los cambios de color en la cáscara y en la fruta se midieron  
235 con un colorímetro Hunter Lab MiniScan XE Plus (Virginia, Estados Unidos de  
236 América). El ángulo de tono se calculó a partir de la fórmula:  $^{\circ}H = \tan^{-1}(b/a)$  (Luna *et al.*  
237 2006; Vargas-Ortiz *et al.*, 2013).

238 Sólidos solubles totales (SST). Se determinó con un refractómetro digital marca Atago  
239 (Washington, Estado Unidos de América) de acuerdo a la metodología de la AOAC  
240 (1990). Los resultados se expresaron en  $^{\circ}$ Brix.

241 Acidez titulable. El contenido de acidez se determinó como porcentaje de ácido cítrico  
242 por gramo de jugo de pulpa de los frutos. Se realizó por titulación con NaOH 0.1 N de  
243 acuerdo al método de la AOAC (1990).

244 pH. El pH se determinó en el jugo extraído de la fruta, empleando un potenciómetro  
245 (HANNA Instruments<sup>®</sup>, México) equipado con un electrodo de vidrio previamente  
246 calibrado y estandarizado con soluciones de pH conocidas (AOAC, 1990).

247 Producción de CO<sub>2</sub> y etileno. Se determinó la producción de CO<sub>2</sub> y etileno de los frutos  
248 durante su almacenamiento; para esto, un solo fruto se colocó en una cámara de  
249 respiración de 1 L de capacidad, hermética y provista de un septum de hule, durante 1  
250 h. El gas que el fruto produjo se extrajo a través del septum utilizando una jeringa para  
251 cromatografía de gases, utilizando 1 mL de espacio de cabeza de la cámara. La  
252 cuantificación se realizó en un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7820A,  
253 California, EUA), con una columna Agilent HP-PLOT/U de 30 m x 530 µm x 20 µm, bajo  
254 condiciones de 190 °C en el inyector split, 90 °C en el horno, 250 °C en el Detector de  
255 Ionización de Flama (FID), 250 °C en el Detector de Conductividad Térmica (TCD). Se  
256 utilizó nitrógeno como gas acarreador a un flujo de 10 mL/min (Vargas-Ortiz *et al.*,  
257 2013). Para calcular la concentración de etileno y CO<sub>2</sub> presente en la muestra, se  
258 empleó la fórmula indicada por Saltveit y Yang (1987).

259

#### 260 **3.4.8 Efectividad de los recubrimientos sobre la antracnosis**

261 La cepa del hongo de *Colletotrichum gloeosporioides* (H4F4) que se utilizó para este  
262 estudio fue aislada de frutos de mango Manila. La identificación del patógeno se realizó  
263 de acuerdo a Barnett y Hunter (1972). Los frutos utilizados (mencionados en el  
264 apartado de aplicación de los recubrimientos en mango), se desinfectaron con una  
265 solución de hipoclorito de sodio al 2 %. A continuación, en la parte ecuatorial del fruto  
266 se realizaron tres heridas con una aguja de disección estéril; el tamaño de la herida fue

267 de aproximadamente 2 mm de diámetro por 2 mm de profundidad. Posteriormente, en  
268 cada herida se depositaron 10 µL de una suspensión de  $1 \times 10^6$  conidios mL<sup>-1</sup> de *C.*  
269 *gloeosporioides* y se dejaron a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) durante 24 horas  
270 (López *et al.*, 2013, Correa *et al.*, 2017). A diferencia de las variables fisicoquímicas, en  
271 éste caso la severidad se evaluó en un fruto por tratamiento con el mismo número de  
272 repeticiones y al final del periodo de incubación (18 días). La técnica utilizada para  
273 medir la severidad fue análisis de imágenes digitales (Rincón *et al.*, 2012; Saucedo *et*  
274 *al.*, 2015), el cual se describe detalladamente en el Capítulo 2 de esta tesis.

275

#### 276 **3.4.7 Análisis estadístico.**

277 Los datos de las propiedades ópticas, de barrera y mecánicas se analizaron a través de  
278 un análisis de varianza (ANDEVA) a una vía con un  $\alpha = 5\%$  y la comparación de  
279 medias mediante la prueba de Tukey, mediante el programa Statgraphic Plus versión  
280 5.1.

281 Los datos de las variables fisicoquímicas se sometieron a un análisis de varianza con el  
282 modelo general lineal, mientras que para la severidad se realizó un análisis de varianza  
283 con la homogenización de datos mediante la transformación angular [arcoseno  
284  $\sqrt{(\%)/100}$ ]. En ambos casos se llevó a cabo la prueba de comparación de medias de  
285 Tukey utilizando el programa Statgraphic Plus versión 5.1. Las gráficas se realizaron  
286 con el software SigmaPlot versión 10.0.

287

288

289

290 **3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

291 **3.5.1 Caracterización de las películas**

292 El grosor de las películas de quitosano-ácido elágico osciló entre 0.072 a 0.101 mm  
 293 (Cuadro 3.2). Estos valores son mayores a los de las películas sintéticas de polietileno  
 294 de baja densidad que presentan valores entre 0.015 a 0.050 mm (Sperling, 2005). Sin  
 295 embargo, el intervalo de espesor de las películas es menor a otras películas  
 296 biodegradables elaboradas a base de goma de mezquite y cera de candelilla (0.237  
 297 mm) (Bosquez-Molina *et al.*, 2003), puré de mango (0.170 mm) (Sothornvit y  
 298 Rodsamram, 2008), mucilago del nopal (0.222) (González, 2011) y extractos pécticos y  
 299 de aceite esencial de limón (0.130 mm) (Sánchez *et al.*, 2015).

300

301 Cuadro 3.2. Propiedades ópticas de las películas de quitosano-ácido elágico.

Película	Grosor (mm)	Transparencia	Brillo (GU)	Color		
				L*	a*	b*
Testigo	0.072 ± 0.0008d	2.86 ± 0.08d	39.2 ± 0.83a	87.85 ± 0.22a	-0.20 ± 0.03d	4.60 ± 0.32a
QAE3	0.082 ± 0.0008c	3.02 ± 0.08c	37.8 ± 0.83bc	86.88 ± 0.22b	-1.17 ± 0.12c	2.72 ± 0.18bc
QAE5	0.094 ± 0.0008b	4.60 ± 0.07b	38.8 ± 0.83ab	86.40 ± 0.16c	-2.04 ± 0.05a	2.38 ± 0.21cd
QAE7	0.101 ± 0.001a	5.56 ± 0.03 <sup>a</sup>	36.8 ± 0.83c	83.26 ± 0.18d	-1.86 ± 0.09b	2.09 ± 0.08d

302 QAE3 representa a la película con ácido elágico al 0.3%; QAE5 representa la película con ácido elágico  
 303 al 0.5%; QAE7 representa la película con ácido elágico al 0.7%; el testigo es la película sin ácido elágico.  
 304 L\* representa la luminosidad; a\* representa los espectros verde-rojo; b\* representa los espectros azul-  
 305 amarillo. Letras diferentes en la misma columna hay diferencia significativa de acuerdo a la prueba de  
 306 Tukey ( $n = 5$ ) ( $p \leq 0.05$ ).

307

308 Los valores de transparencia y brillo se encuentran entre las propiedades ópticas más  
309 importantes a la hora de evaluar el impacto directo sobre la apreciación del color y  
310 aspecto de un producto recubierto (Pérez *et al.*, 2012). Las películas presentaron  
311 valores de transparencia entre 2.86 a 5.56 (Cuadro 3.2) siendo la película testigo y la  
312 de QAE3 la que presentaron mayor transparencia y brillo, lo que da como resultado que  
313 los frutos presenten una apariencia más natural. Además se puede observar que la  
314 adición de ácido elágico provocó la disminución de los valores de  $a^*$  y  $b^*$ , lo que indica  
315 una tendencia hacia los colores verde y amarillo.

316 Las propiedades de barrera son importantes en las películas comestibles pues de su  
317 efectividad dependerá la transferencia de humedad entre el producto y el medio. Las  
318 películas QAE3 y QAE5 presentaron menor capacidad de absorción de agua (Cuadro  
319 3.3) por lo tanto, estas películas son favorables debido a que son más resistentes en  
320 ambientes húmedos (Avena-Bustillo *et al.*, 1997). Con respecto a los valores de  
321 permeabilidad al vapor de agua se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre  
322 tratamientos. Cuando la concentración de ácido elágico fue del 0.3%, el valor de la  
323 permeabilidad al vapor de agua disminuyó; sin embargo, cuando la concentración de  
324 ácido elágico fue de 0.7% la permeabilidad aumentó (Cuadro 3.3). Lo anterior puede  
325 estar relacionado con el exceso de ácido elágico dispersado en la película, lo cual  
326 induce a una reducción de la cristalinidad. Esta reducción probablemente se deba a la  
327 unión covalente del polifenol con el grupo amino del quitosano, lo que ocasiona una  
328 disminución de enlaces de hidrogeno inter e intramoleculares que aumentan la  
329 solubilidad de las películas al agua (Hu y Luo, 2016). Los valores de permeabilidad de  
330 estas películas son similares a los de las películas elaboradas a base de quitosano y

331 ácido gálico, las cuales obtuvieron valores entre  $3.71 \times 10^{-10}$  a  $2.24 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$   
 332 (Sun *et al.*, 2014). Sin embargo, en películas elaboradas a base de quitosano con  
 333 extracto de polifenoles de manzana se reportaron valores menores entre  $10.68 \times 10^{-11}$  a  
 334  $7.50 \times 10^{-11}$ , los cuales presentan menor permeabilidad que las películas reportadas en  
 335 este estudio (Sun *et al.*, 2017).

336

337 Cuadro 3.3. Propiedades de barrera de las películas de quitosano-ácido elágico.

Película comestible	Capacidad de absorción de agua (%)	Permeabilidad al vapor de agua ( $\text{g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ) $\times 10^{-10}$
Testigo	$36.0 \pm 1.00\text{b}$	$2.48 \pm 0.02\text{b}$
QAE3	$30.0 \pm 1.58\text{c}$	$2.08 \pm 0.04\text{d}$
QAE5	$30.4 \pm 1.14\text{c}$	$2.18 \pm 0.01\text{c}$
QAE7	$40.6 \pm 0.89\text{a}$	$2.67 \pm 0.02\text{a}$

338 QAE3 representa a la película con ácido elágico al 0.3%; QAE5 representa la película con ácido elágico  
 339 al 0.5%; QAE7 representa la película con ácido elágico al 0.7%; el testigo es la película sin ácido elágico.  
 340 Letras diferentes en la misma columna hay diferencia significativa de acuerdo a la prueba de Tukey ( $n =$   
 341  $5, p \leq 0.05$ ).  
 342

343 Las propiedades mecánicas en una película comestible confieren integridad a la  
 344 película y evita agrietamientos durante la manipulación y el almacenamiento (Sothornvit  
 345 y Rodsamram, 2008; Murillo-Martínez *et al.*, 2011). Existieron diferencias significativas  
 346 ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos en la resistencia a la tensión y el porcentaje de elongación.  
 347 Esto puede deberse a que la adición del ácido elágico interactuó con el quitosano  
 348 formando nuevos enlaces que afectan la estructura de la película (Sun *et al.*, 2014). En  
 349 la película de quitosano sin ácido elágico (testigo), los valores de la resistencia a la  
 350 tensión y el porcentaje de elongación fueron de 13.84 MPa y 29.70% respectivamente  
 351 (Cuadro 3.4). La incorporación del ácido elágico, en general provocó un aumento en la

352 resistencia a la tensión y el porcentaje de elongación. Las concentraciones más bajas  
 353 de ácido elágico arrojaron los valores más altos para la fuerza de tensión,  
 354 probablemente debido a la formación de enlaces de hidrógeno intermoleculares entre el  
 355 grupo amino del esqueleto del quitosano y los grupos hidroxilo del ácido elágico (Sun *et*  
 356 *al.*, 2011). En contraste, cuando la concentración de ácido elágico fue de 0.7%, la  
 357 resistencia a la tensión de las películas disminuyó. Este efecto puede deberse a que la  
 358 adición de ácido elágico afecta la estructura cristalina de la matriz del quitosano (Sun *et*  
 359 *al.*, 2014) al debilitar los enlaces de hidrogeno intermoleculares y dificulta la interacción  
 360 entre las cadenas del polímero (Sun *et al.*, 2017).

361 Las películas QAE3 y QAE5 presentaron los mayores porcentajes de elongación; por lo  
 362 tanto, las películas son más flexibles.

363

364 Cuadro 3.4. Propiedades mecánicas de las películas de quitosano-ácido elágico.

Película comestible	Resistencia a la tensión (MPa)	Porcentaje de elongación (%)
Testigo	13.84 ± 0.03d	29.70 ± 0.63c
QAE3	20.16 ± 0.03a	32.95 ± 0.56a
QAE5	19.90 ± 0.07b	31.01 ± 0.69b
QAE7	15.41 ± 0.06c	25.84 ± 0.51d

365 QAE3 representa a la película con ácido elágico al 0.3%; QAE5 representa la película con ácido elágico  
 366 al 0.5%; QAE7 representa la película con ácido elágico al 0.7%; el testigo es la película sin ácido elágico.  
 367 Letras diferentes en la misma columna hay diferencia significativa de acuerdo a la prueba de Tukey ( $n =$   
 368 5) ( $p \leq 0.05$ ).

369

370 En la figura 3.1 se observan las micrografías de las películas de quitosano-ácido  
 371 elágico.

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

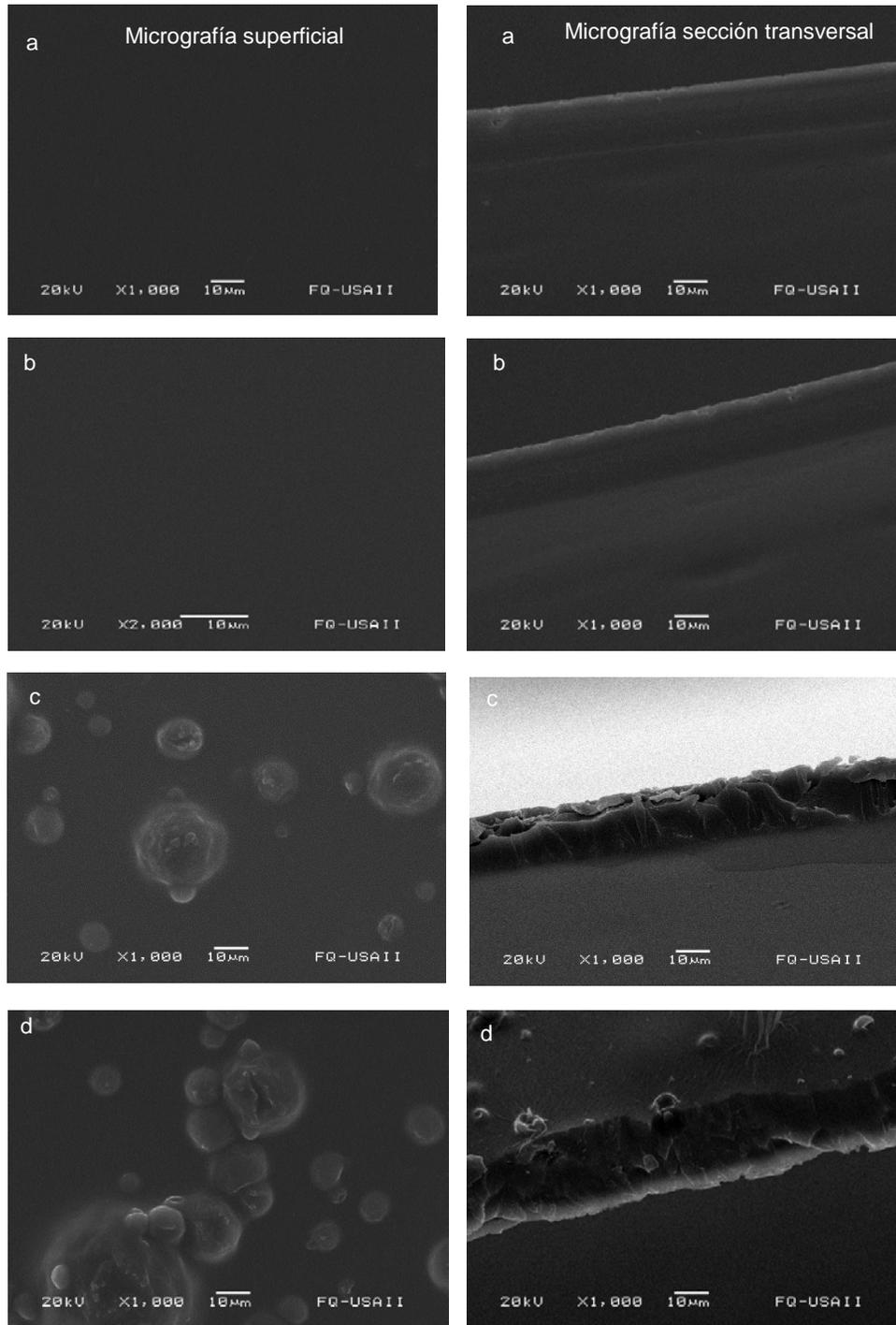


Figura 3.1. Microscopía electrónica de barrido de la superficie y sección transversal de las películas de quitosano-ácido elágico a: Película de quitosano; b: QAE3 (quitosano con ácido elágico al 0.3%); c: QAE5 (quitosano con ácido elágico al 0.5%); d: QAE7 (quitosano con ácido elágico al 0.7%) (20 KV, 1000x).

400 Conforme aumentó la concentración de ácido elágico la morfología superficial de las  
401 películas fue más áspera y heterogénea. La morfología superficial y transversal de la  
402 película de quitosano con ácido elágico al 0.3% muestra una superficie plana y lisa, con  
403 una estructura compacta, resultando una película homogénea (Figura 3.1b).  
404 En la película con concentración de ácido elágico al 0.7% se observa heterogeneidad  
405 en la matriz del quitosano y aglomeraciones que interrumpen la estructura interna de la  
406 película (Figura 3.1d), por lo que se reduce la resistencia a la tensión (15.41 MPa) y el  
407 porcentaje de elongación (25.84%), en comparación con la película testigo. La  
408 estructura heterogénea de esta película también afecta a la capacidad de absorción de  
409 agua y a la permeabilidad al vapor de agua (Cuadro 3.3).

410

### 411 **3.5.2 Aplicación de los recubrimientos en mango**

412 Análisis fisicoquímicos. Los tratamientos mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).  
413 Al día 18, la pérdida de peso fue mayor (13.2 a 18.8%) en los mangos con  
414 recubrimientos y almacenados a 25 °C; que en aquellos a 13°C (7.8 a 15.6%) (Figura  
415 3.2). Los mangos que presentaron menor pérdida de peso correspondieron a los  
416 tratamientos RQAE3 y RQAE5 a 13 °C, en esto las propiedades de barrera del  
417 recubrimiento pueden tener influencia, ya que estos recubrimientos son los que  
418 presentaron los valores más bajos de capacidad de absorción de agua y permeabilidad  
419 al vapor de agua, reduciendo la transpiración a través de las lenticelas, así como una  
420 disminución del metabolismo respiratorio (Mitra y Baldwin, 1997).  
421 Los valores de pérdida de peso en este estudio son mayores a los reportados por Díaz-  
422 Sobac *et al.* (2007), quienes reportaron menor pérdida de peso (8-9%) en mango

423 'Manila' tratado con recubrimientos a base de carboximetilcelulosa y ácidos grasos  
424 esterificados.

425 Pérdidas de peso entre el 5 al 10% pueden originar un producto comercialmente  
426 inaceptable (Luna *et al.*, 2006); por lo tanto, en este estudio, la apariencia de los frutos  
427 de mango se mantuvo aceptable hasta el sexto día a 25 °C, debido a que presentaron  
428 entre el 3 y 6% de pérdida de peso. Los mangos almacenados a 13 °C se mantuvieron  
429 aceptables hasta el noveno día.

430

431

432

433

434

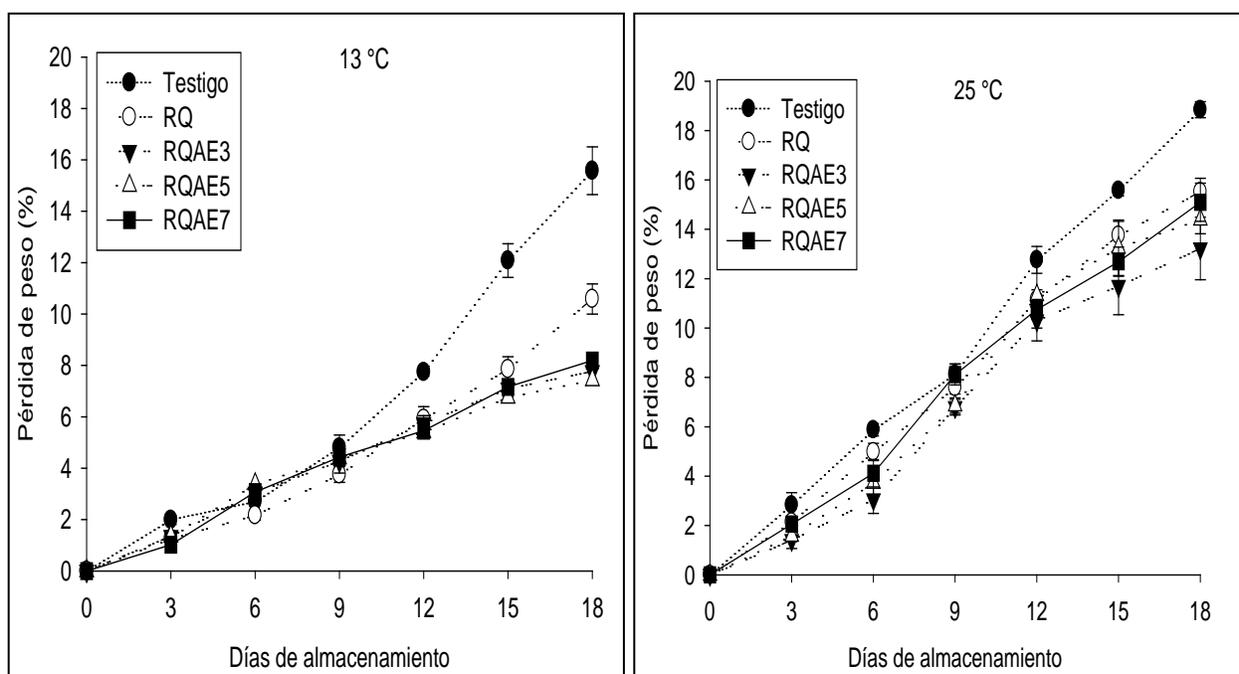
435

436

437

438

439



440 Figura 3.2 Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido eláxico en la pérdida  
441 de peso del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( $n = 3$ ). Desviación  
442 estándar (barras verticales). RQ: recubrimiento a base de quitosano; QAE3:  
443 recubrimiento a base de quitosano con ácido eláxico al 0.3%; QAE5: recubrimiento a  
444 base de quitosano con ácido eláxico al 0.5%; QAE7: recubrimiento a base de quitosano  
445 con ácido eláxico al 0.7%.

446

447 Los tratamientos a base de quitosano-ácido eláxico afectaron significativamente

448 ( $p < 0.05$ ) la firmeza de los frutos, sobre todo a partir del noveno día de almacenamiento.

449 La firmeza de los mangos disminuyó en forma gradual de 17.6 a 2.1 Kg<sub>f</sub> a 13 °C y de  
 450 17.5 a 0.7 Kg<sub>f</sub> a 25 °C (Figura 3.3). El tratamiento RQAE3 presentó menor pérdida de  
 451 firmeza a 13 °C, probablemente por la modificación de la atmosfera interna del fruto, lo  
 452 que provoca la disminución de las actividades de las enzimas causantes del  
 453 ablandamiento y reduce la degradación de la clorofila y la biosíntesis de los  
 454 carotenoides (Olivas *et al.*, 2007).

455

456

457

458

459

460

461

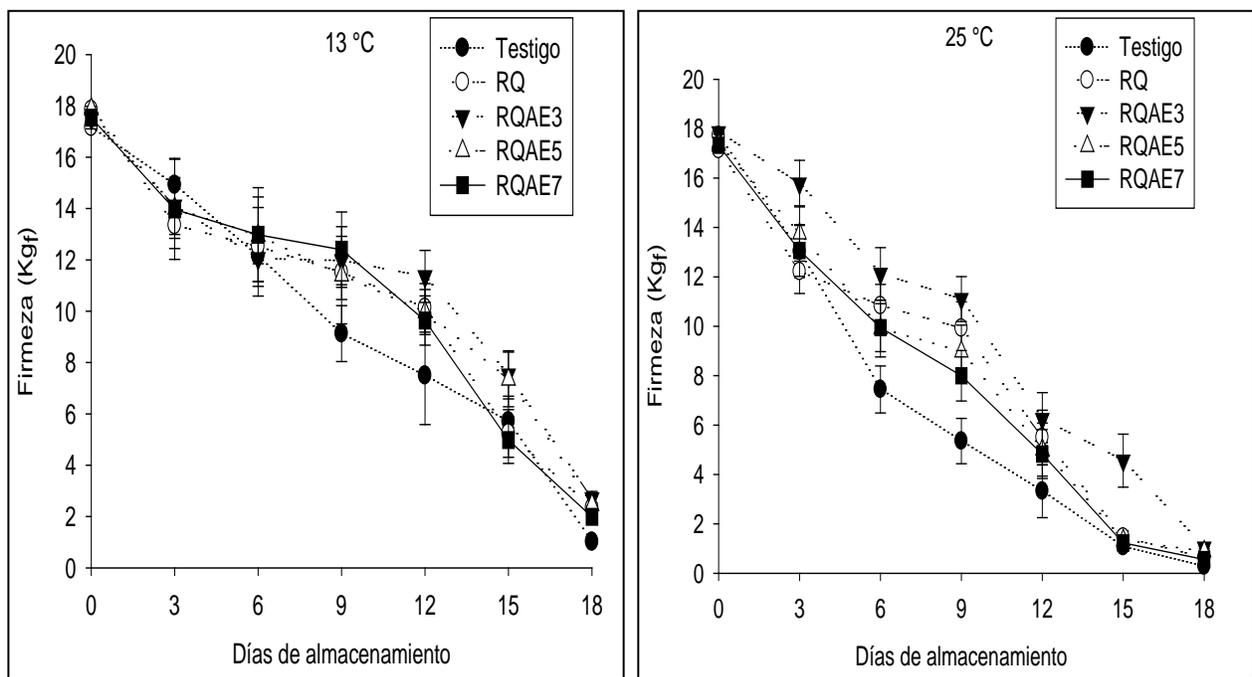
462

463

464

465

466



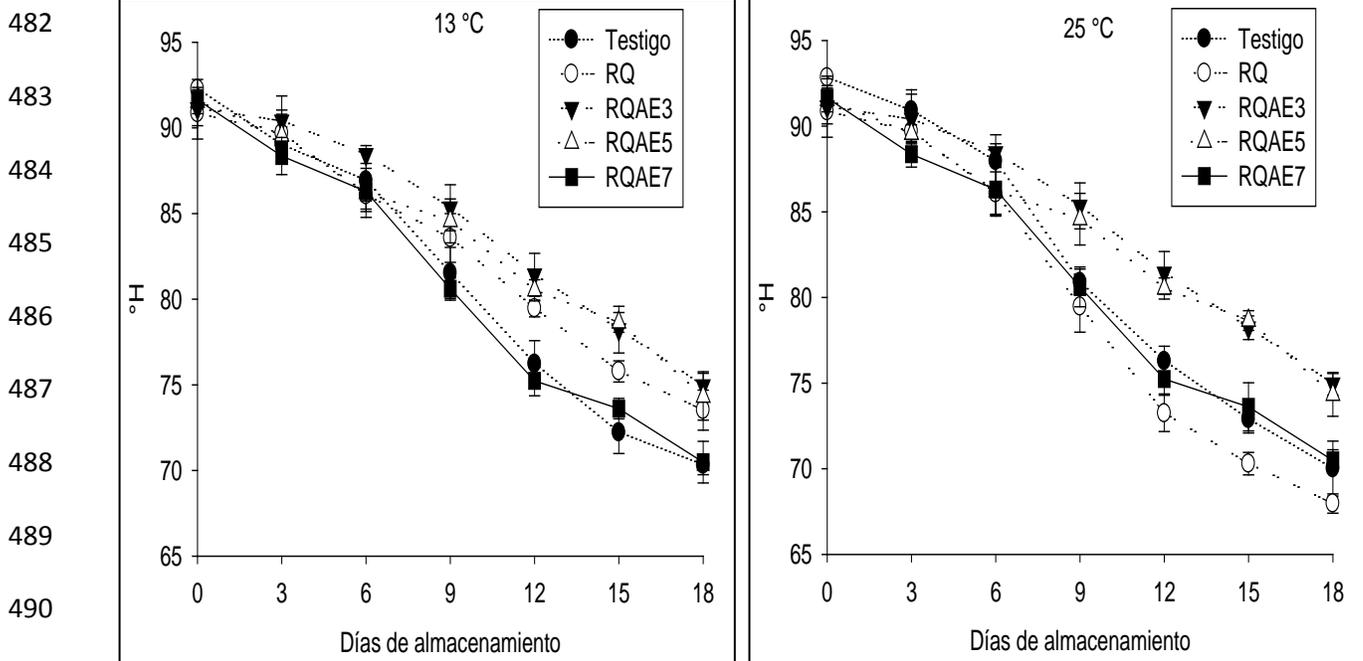
467 Figura 3.3. Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elálgico en la firmeza  
 468 del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( $n = 3$ ). Desviación  
 469 estándar (barras verticales). RQ: recubrimiento a base de quitosano; QAE3:  
 470 recubrimiento a base de quitosano con ácido elálgico al 0.3%; QAE5: recubrimiento a  
 471 base de quitosano con ácido elálgico al 0.5%; QAE7: recubrimiento a base de quitosano  
 472 con ácido elálgico al 0.7%.

473

474 Los recubrimientos comestibles provocaron que los frutos tuvieran valores de matiz H°  
 475 entre 92.9 a 70.5 a 13 °C y 94 a 67.9 a 25 °C (Figura 3.4). En los primeros días de  
 476 almacenamiento en ambas temperaturas se registraron los valores más altos de matiz

477 H°, los cuales disminuyeron conforme transcurrió el almacenamiento, durante el  
 478 proceso de maduración se presentó un cambio de color verde a amarillo-anaranjado,  
 479 esto debido a la rápida degradación de la clorofila y el aumento en la biosíntesis de  
 480 carotenoides (Mattoo *et al.*, 1975).

481



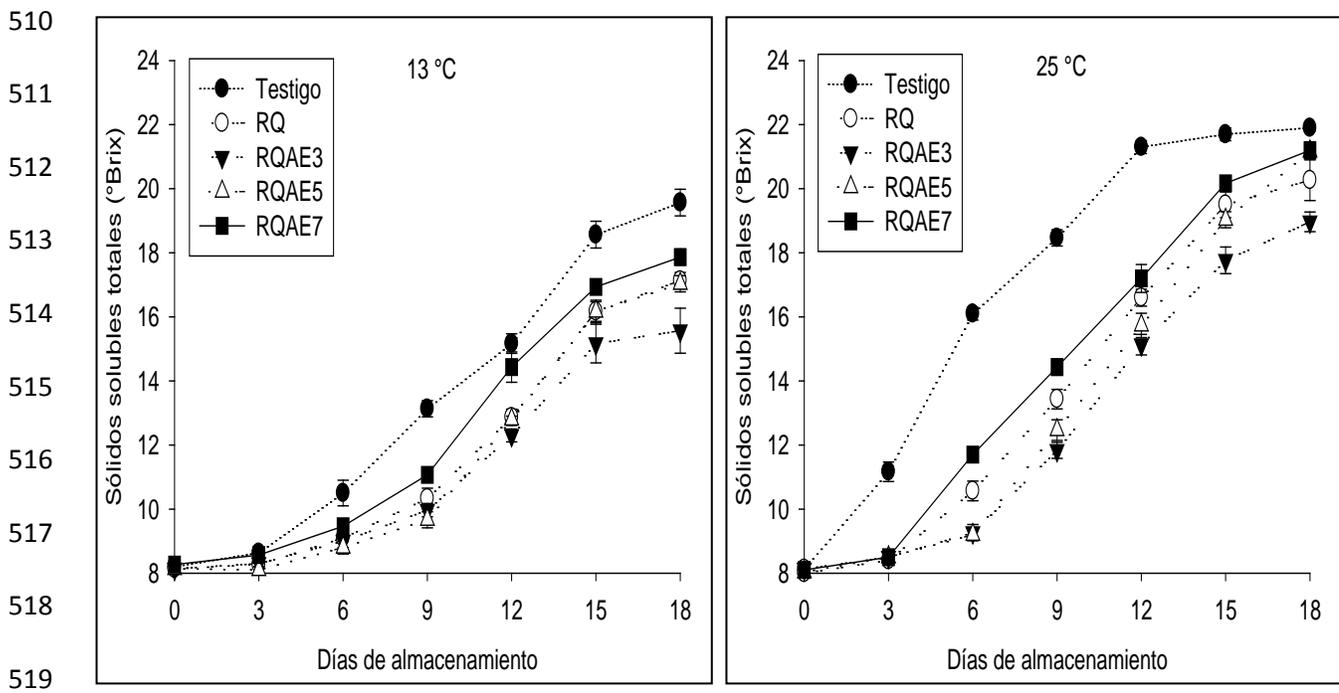
491

492 Figura 3.4. Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elágico en el color  
 493 (matiz H°) del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( $n = 3$ ).  
 494 Desviación estándar (barras verticales). RQ: recubrimiento a base de quitosano;  
 495 RQAE3: recubrimiento a base de quitosano con ácido elágico al 0.3%; RQAE5:  
 496 recubrimiento a base de quitosano con ácido elágico al 0.5%; RQAE7: recubrimiento a  
 497 base de quitosano con ácido elágico al 0.7%.

498

499 Se observó un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ) en el factor temperatura  
 500 para la variable sólidos solubles totales. En los primeros tres días de almacenamiento a  
 501 13 °C, los valores de SST en todos los tratamientos fueron similares; después del sexto  
 502 día, estos valores fueron mayores en el testigo. Los mangos del tratamiento QAE3

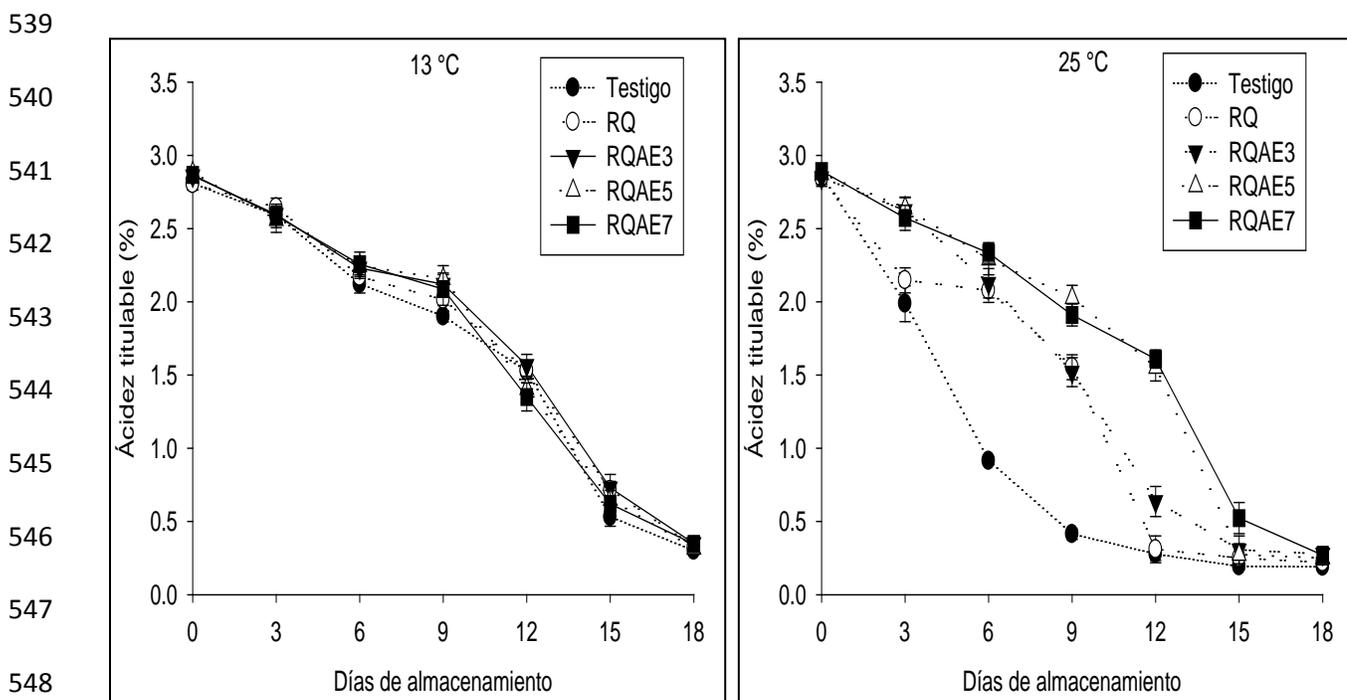
503 presentaron menor contenido de SST (15.5 °Brix) al término del experimento (Figura  
 504 3.5). Los mangos almacenados a 25 °C registraron valores entre 18.9 a 21.9 °Brix a los  
 505 18 días. Los mangos del tratamiento RQAE7 presentaron mayor contenido de SST  
 506 (21.2 °Brix). Este incremento está relacionado con la alteración de la estructura de la  
 507 pared celular y el rompimiento de carbohidratos complejos a simples. Así mismo, el  
 508 incremento en el contenido de SST influye directamente en el dulzor del mango y la  
 509 calidad sensorial (Osuna-García *et al.*, 2002).



520 Figura 3.5. Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elálgico en los  
 521 sólidos solubles totales del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( $n$   
 522 = 3). Desviación estándar (barras verticales). RQ: recubrimiento a base de quitosano;  
 523 QAE3: recubrimiento a base de quitosano con ácido elálgico al 0.3%; QAE5:  
 524 recubrimiento a base de quitosano con ácido elálgico al 0.5%; QAE7: recubrimiento a  
 525 base de quitosano con ácido elálgico al 0.7%.

527 En un proceso normal de maduración, a medida que este avanza la acidez del mango  
 528 disminuye y el contenido de azúcares se incrementa. La concentración de ácido cítrico

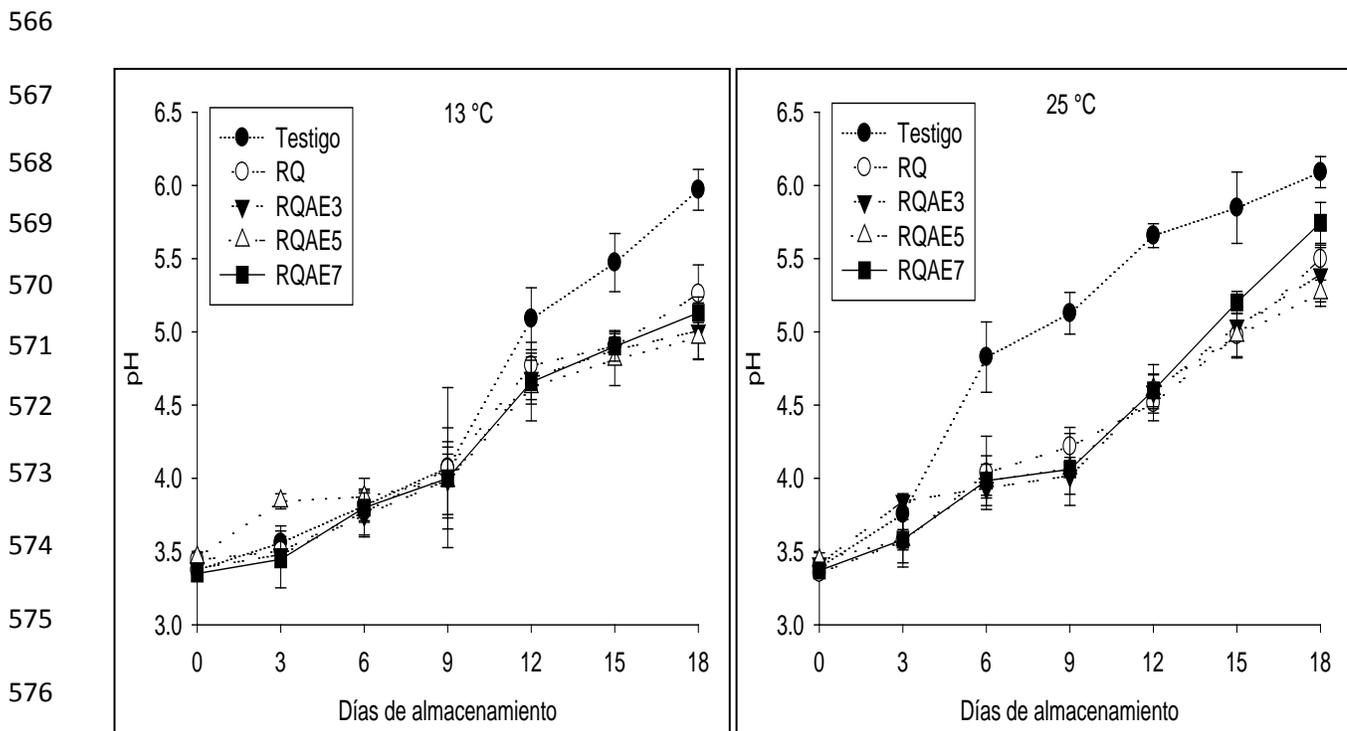
529 disminuyó en todos los tratamientos durante el almacenamiento. Se observaron  
 530 diferencias significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos para la variable acidez titulable. Los  
 531 tratamientos RQAE3 y RQAE7 presentaron menor pérdida de acidez a 13 °C (Figura  
 532 3.6). Esta pérdida se atribuye a que los ácidos (cítrico, málico y ascórbico) de la fruta  
 533 disminuyen considerablemente (Mitra y Baldwin, 1997). Se ha reportado que el primer  
 534 ácido en desaparecer es el ácido málico, seguido del cítrico, lo cual sugiere un posible  
 535 catabolismo del citrato vía malato. Los ácidos orgánicos, como sustratos de la actividad  
 536 respiratoria en el fruto, juegan un papel importante en el balance acidez/azúcares que  
 537 influyen notablemente en el sabor y aroma característicos del mango (Luna *et al.*,  
 538 2006).



549 Figura 3.6. Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido eláxico en el  
 550 porcentaje de acidez titulable del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25  
 551 °C ( $n = 3$ ). Desviación estándar (barras verticales). RQ: recubrimiento a base de  
 552 quitosano; QAE3: recubrimiento a base de quitosano con ácido eláxico al 0.3%; QAE5:

553 recubrimiento a base de quitosano con ácido elálgico al 0.5%; QAE7: recubrimiento a  
554 base de quitosano con ácido elálgico al 0.7%.

555  
556  
557 Los recubrimientos modificaron el cambio del pH y la acidez titulable en los mangos  
558 durante el almacenamiento. El tratamiento RQAE5, a 13 °C, mostró un pH inicial de 3.4  
559 que aumento a 3.9 en el tercer día; en los otros tratamientos, este efecto se observó en  
560 el noveno y el doceavo día de almacenamiento (Figura 3.7). Este aumento repentino,  
561 coincide con el pico climatérico de los frutos. Al final del periodo, el intervalo de valores  
562 de pH fue de 4.9 a 5.3. El cambio de pH registrado en los mangos con recubrimientos,  
563 parece estar asociado con la utilización, en menor cantidad, de los ácidos orgánicos  
564 presentes en las vacuolas de las células de los mangos; estos ácidos orgánicos sirven  
565 como sustrato respiratorio (Díaz-Sobac *et al.*, 2007).



577  
578 Figura 3.7. Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elálgico en el pH del  
579 mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( $n = 3$ ). Desviación estándar

580 (barras verticales). RQ: recubrimiento a base de quitosano; QAE3: recubrimiento a  
581 base de quitosano con ácido elágico al 0.3%; QAE5: recubrimiento a base de quitosano  
582 con ácido elágico al 0.5%; QAE7: recubrimiento a base de quitosano con ácido elágico  
583 al 0.7%.  
584

585 La velocidad de respiración inicial en los frutos testigos fue de 40.5 mL de CO<sub>2</sub> (Kg\*h)<sup>-1</sup>  
586 y alcanzó el pico climatérico con 58 mL de CO<sub>2</sub> (Kg\*h)<sup>-1</sup> a los nueve días a 13°C; a  
587 partir de ahí el valor disminuyó paulatinamente hasta alcanzar 43.1 mL de CO<sub>2</sub> (Kg\*h)<sup>-1</sup>  
588 (Figura 3.8). La velocidad de respiración inicial de los mangos con recubrimientos  
589 oscilo entre 40.3 y 41 mL de CO<sub>2</sub> (Kg\*h)<sup>-1</sup>. Los tratamientos RQ y RQAE7 alcanzaron el  
590 pico climatérico en el día 9 con valores de 46.2 y 50.7 mL de CO<sub>2</sub> (Kg\*h)<sup>-1</sup>,  
591 respectivamente; los tratamientos RQAE3 y RQAE5 lo alcanzaron el día 12 con valores  
592 máximos de 46.2 y 50.7 mL de CO<sub>2</sub> (Kg\*h)<sup>-1</sup>.

593 A diferencia de lo anterior, en los mangos recubiertos y almacenados a 25 °C, la  
594 velocidad de respiración tuvo una tendencia distinta. Los valores iniciales de esta  
595 variable fluctuaron entre 40.7 a 40.9 mL de CO<sub>2</sub> (Kg\*h)<sup>-1</sup>. Los tratamientos testigo, RQ y  
596 RQAE7 presentaron su pico climatérico al sexto día de almacenamiento, mientras que  
597 para el resto de los tratamientos ocurrió en el noveno día. De los mangos con  
598 recubrimiento, destacan los tratamientos RQ, RQAE3 y RQAE5, cuya velocidad de  
599 respiración fue baja durante el almacenamiento.

600 La disminución en la velocidad de respiración obedece a que los recubrimientos  
601 actuaron como barrera física y disminuyeron la entrada de oxígeno, el cuál es el  
602 principal sustrato para la degradación y síntesis de metabolitos en el fruto (Saltveit y  
603 Yang 1987). Por lo tanto, la aplicación de los recubrimientos reduce la tasa de  
604 respiración del mango, prolongando así su vida útil.

605

606

607

608

609

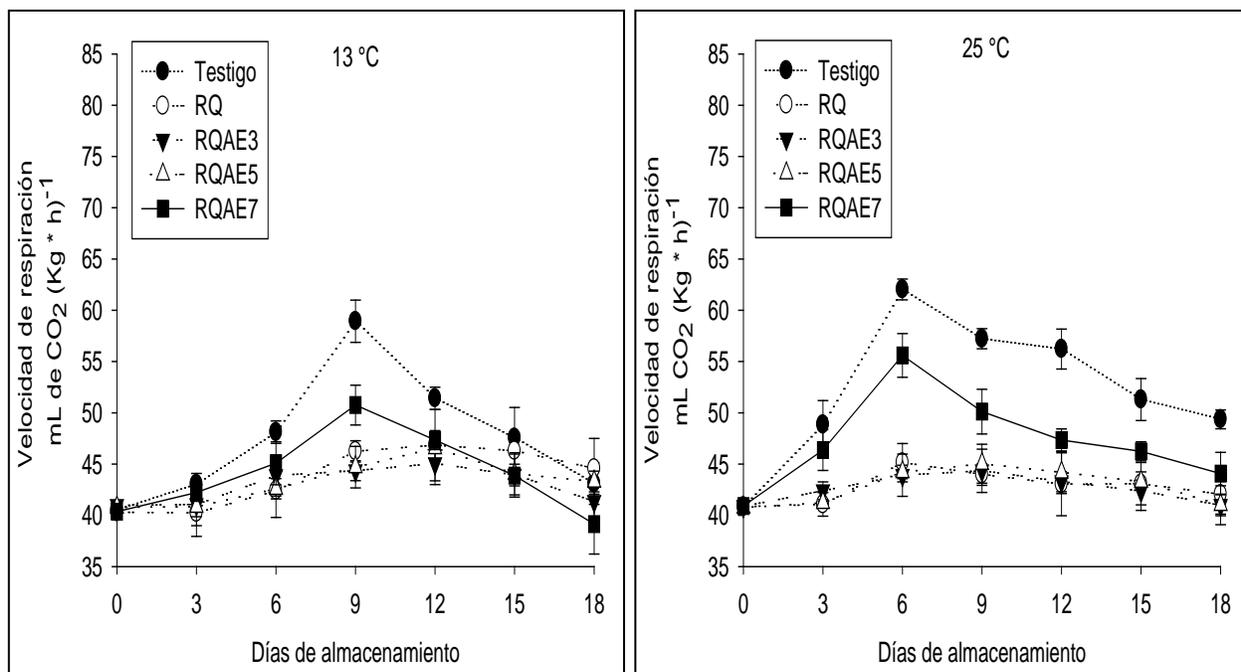
610

611

612

613

614



615 Figura 3.8. Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido eláxico en la  
616 velocidad de respiración del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( $n$   
617 = 3). Desviación estándar (barras verticales). RQ: recubrimiento a base de quitosano;  
618 QAE3: recubrimiento a base de quitosano con ácido eláxico al 0.3%; QAE5:  
619 recubrimiento a base de quitosano con ácido eláxico al 0.5%; QAE7: recubrimiento a  
620 base de quitosano con ácido eláxico al 0.7%.

621

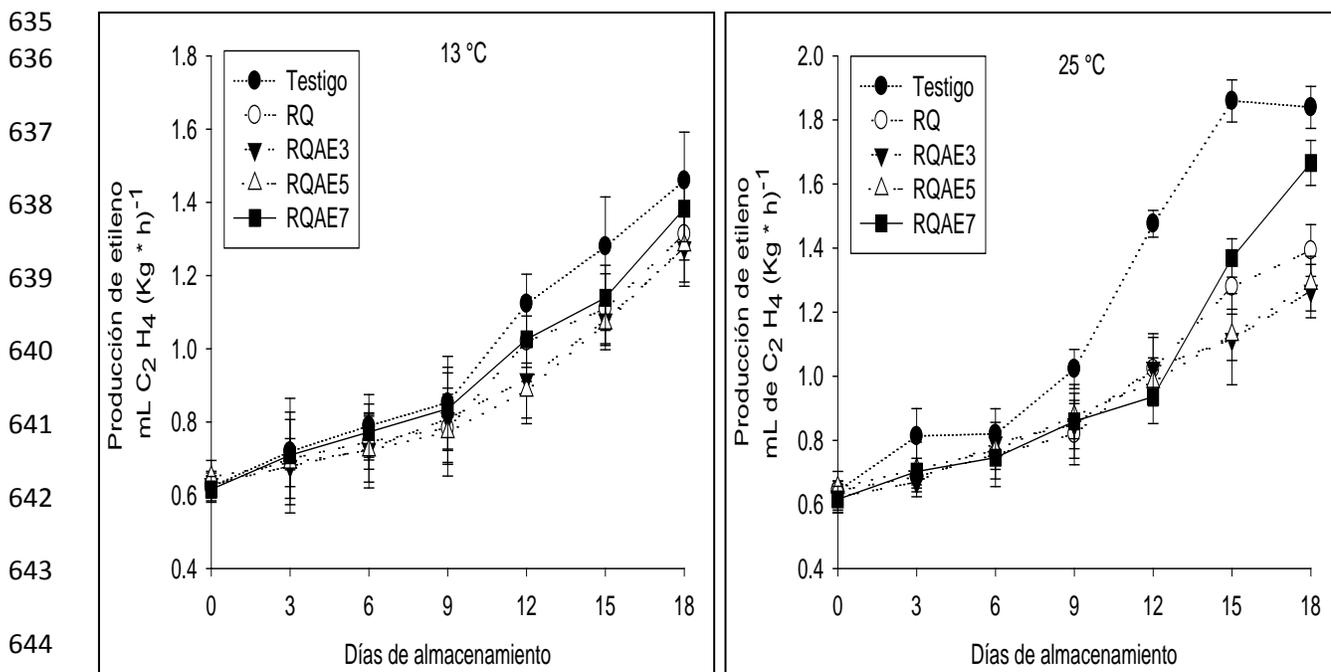
622

623 No se detectó un pico máximo de producción de etileno en ninguno de los tratamientos  
624 evaluados (Figura 3.9), lo que indica una posible inhibición en la producción de esta  
625 hormona debido a que los recubrimientos ejercieron una barrera al oxígeno, lo cual  
626 provocó una reducción de la actividad de la enzima amino ciclo propano carboxil  
627 oxidasa (ACC-oxidasa), dependiente de oxígeno y precursora de la síntesis de etileno  
628 (Bradford y Shang, 2008).

629 Los datos obtenidos de las variables fisicoquímicas en cada uno de los tratamientos a  
630 base de quitosano-ácido eláxico indican que la vida de anaquel de los mangos,  
631 variedad Manila fue de 12 días a 13 °C y de seis a 25 °C. En estos días los mangos

632 conservaron las características de calidad que el consumidor requiere, contrario a los  
633 mangos sin recubrimiento.

634



645 Figura 3.9. Efecto de las películas comestibles de quitosano-ácido elálgico en la  
646 producción de etileno del mango 'Manila' durante el almacenamiento a 13 y 25 °C ( $n =$   
647 3). Desviación estándar (barras verticales). RQ: recubrimiento a base de quitosano;  
648 QAE3: recubrimiento a base de quitosano con ácido elálgico al 0.3%; QAE5:  
649 recubrimiento a base de quitosano con ácido elálgico al 0.5%; QAE7: recubrimiento a  
650 base de quitosano con ácido elálgico al 0.7%.

651

652

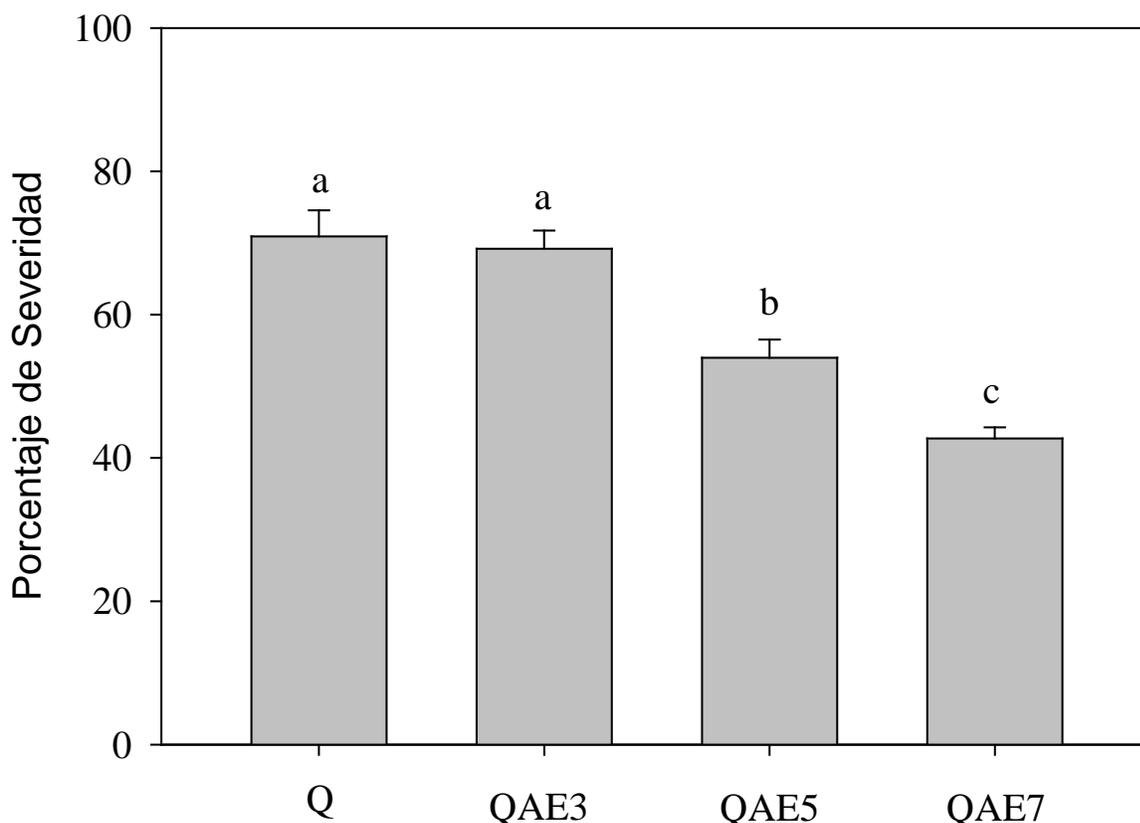
653

### 3.5.3 Severidad de *C. gloeosporioides*

654 Existieron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre tratamientos para el porcentaje de  
655 severidad de *C. gloeosporioides* en los frutos almacenado a 13 °C (Figura 3.10). Los  
656 mangos recubiertos con quitosano-ácido elálgico presentaron un porcentaje de  
657 severidad entre 42.7 a 70.9 (Figura 3.9). Zhu *et al.* (2008) reportaron resultados  
658 similares de severidad (72%) en mango con recubrimientos de quitosano. El

659 tratamiento más efectivo fue el QAE7, con 42.7% de severidad, seguido del QAE5 con  
660 53.9% (Figura 3.10).

661 Los mangos almacenados a 25 °C presentaron 100% de severidad. La temperatura es  
662 un factor importante que condiciona el desarrolló del patógeno, esto está relacionado  
663 con la temperatura óptima para el desarrollo del patógeno que varía de 25 a 28 °C.



664  
665 Figura 3.10. Severidad de la antracnosis en frutos de mango con diferentes  
666 tratamientos de recubrimientos de quitosano y ácido elágico almacenados a 13 °C. Los  
667 datos representan la media  $\pm$  desviación estándar ( $n = 3$ ). Barras con las mismas letras  
668 no hay diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

670  
671 La adición de un agente antimicrobiano a los recubrimientos de quitosano también ha  
672 funcionado como una opción para combatir la antracnosis; por ejemplo, con el uso de

673 un recubrimiento de quitosano (0.75%) y extracto de *Mentha piperita* L. al 1.25% en  
674 frutos de mango inoculados con *C. fructicola*, se obtuvo un porcentaje de severidad de  
675 53.7 (Rima *et al.*, 2017). Este resultado es similar al tratamiento QAE5 (53.9%) de este  
676 estudio. Los recubrimientos de quitosano y ácido elálgico tuvieron un efecto en el grado  
677 de severidad, debido posiblemente a que actuaron sobre la germinación de esporas.  
678 Según Bautista *et al.* (2003), otros eventos fisiológicos podrían estar involucrados en el  
679 control de la antracnosis durante el almacenamiento de los frutos. Además, es  
680 importante considerar el tiempo de desarrollo de la enfermedad ya que éste  
681 determinará la calidad y la vida de anaquel del fruto.

682

### 683 **3.6 CONCLUSIONES**

684 Las películas de quitosano-ácido elálgico presentan buenas propiedades de barrera y  
685 mecánicas, por lo que pueden aplicarse a diversos productos hortofrutícolas, no sin  
686 antes realizar las pruebas correspondientes de acuerdo al producto al cual se le  
687 aplique. Aunque en este estudio se observó una vida de anaquel más duradera en  
688 mango, esta no es la adecuada, sobre todo si se consideran las exportaciones de  
689 mangos, ya que durante estas se requiere mayor tiempo para que el producto llegue a  
690 su destino. Sin embargo, dada las buenas propiedades de barrera y mecánicas, estos  
691 recubrimientos pueden ser efectivos en la vida de anaquel de diversos alimentos como  
692 frutas, verduras, carnes y quesos. El uso de los recubrimientos en estos alimentos  
693 requiere de análisis previos para determinar su efectividad.

694

695

**3.7 LITERATURA CITADA**

- 697 Acosta R. M., Neito A. D., Mena N. G. V., Vaquera H. H., Teliz O. D., Nieto A. R. 2000.  
698 Effect of post-harvest temperatures on the development of internal darkening in  
699 mango fruits (*Mangifera indica* L.) cv. Haden and their quality. *Acta Horticulture*  
700 509: 401-412.  
701
- 702 Alvarado G., Chacona J., Welti J., Calderón G., Arzate I., Pacheco S., Garibay V.,  
703 Gutierrez G. 2012. Optical, microstructural, functional and nanomechanical  
704 properties of *Aloe vera* gel/Gellan gum edible film. *Revista Mexicana de Ingeniería*  
705 *Química* 11: 193-210.  
706
- 707 AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Ed. Association of Official Analytical  
708 Chemist. Washington, DC, USA. pp: 918-919.  
709
- 710 ASTM. 1995. Standard test method for water vapor transmission of material.  
711 Designation E 96-95. Annual book of ASTM standards. American Society for  
712 Testing and Materials, Philadelphia, PA.  
713
- 714 ASTM. 1999. Standard test method for specular gloss. Designation D523. Annual book  
715 of ASTM standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.  
716
- 717 ASTM. 2000. Standard test method for transparency of plastic sheeting. Designation  
718 D1746-97. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.  
719
- 720 Avena-Bustillos R., Krochta J., Saltveit E. 1997. Water vapour resistance of red  
721 delicious apples and celery sticks coated with edible caseinate-acetylated  
722 monoglyceride films. *Journal of Food Science* 62: 351-354.  
723
- 724 Barnett H.L., Hunter B.B. 1972. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Ed. Burgess  
725 Publishing Co. Minneapolis, MN, USA. 241 p.  
726
- 727 Bautista S., Hernández M., Bosquez E., Wilson C. 2003. Effects of chitosan and plant  
728 extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and  
729 quality of papaya fruit. *Crop Protection* 22: 1087-1092.  
730
- 731 Bosquez-Molina E., Guerrero L., Vernon E. 2003. Moisture barrier properties and  
732 morphology of mesquite gum-candelilla wax based edible emulsion coating. *Food*  
733 *Research International* 36: 885-893.  
734
- 735 Bradford K.J., Shang F.Y. 2008. Shang Fa Yang: Pioneer in plant ethylene  
736 biochemistry. *Plant Sciences* 175: 2-7.  
737
- 738 Correa P.Z., Bautista B.S., Valle M.M., Hernández L.M. 2017. The effect of  
739 Nanostructured Chitosan and Chitosan-thyme Essential Oil Coatings on

740 *Colletotrichum gloeosporioides* Growth in vitro and on cv Hass Avocado and Fruit  
741 Quality. Journal of Phytopathology 165: 297-305.  
742

743 Díaz-Sobac R., Vazquez A., Beristain C., De la Cruz J., García H.S. 2007. Emulsion  
744 coating to extend postharvest life of mango (*Mangifera indica* cv. Manila). Journal  
745 of Food Processing and Preservation 20: 191-202.  
746

747 Falguera V., Quintero J.P., Jiménez A., Muñoz J.A., Ibarz A. 2011. Edible films and  
748 coatings: structures, active functions and trends in their use. Trends in Food  
749 Science and Technology 22: 292–303.  
750

751 Fan Y., Xu Y., Wang D., Zhang L., Sun J., Sun L., Zhang, B. 2009. Effect of alginate  
752 coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria x ananassa*)  
753 preservation quality. Postharvest Biology and Technology 53: 84-90.  
754

755 García L.C., Pereira L.M., De Luca Sarantopoulos C.I.G., Hubinger M. D. 2010.  
756 Selection of edible starch coating for minimally processed strawberry. Food and  
757 Bioprocess Technology 3: 834-842.  
758

759 González L. 2011. Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del  
760 mucilago del nopal utilizado para reducir la tasa de respiración del nopal. Facultad  
761 de Ciencia y Tecnología 10: 131-138.  
762

763 Jovanovic G., Klaus A., Niksic M. 2016. Antimicrobial activity of chitosan coatings and  
764 films against *Listeria monocytogenes* on black radish. Revista Argentina de  
765 Microbiología 48: 128-136.  
766

767 Caykara T., Turan E. 2006. Effect of the amount and type of the crosslinker on the  
768 swelling behavior of temperature-sensitive poly (N-tert-butylacrylamide-co-  
769 acrylamide) hydrogels. Colloid and Polymer Science 284: 1038-1048.  
770

771 Gennadios A., Weller C.L., Gooding C.H. 1994. Measurement errors in water vapor  
772 permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. Journal Food  
773 Engineering 21: 395-409.  
774

775 Hans J.H., Floros J.D. 1997. Casting antimicrobial packaging films and measuring their  
776 physical properties and antimicrobial activity. Journal of Plastic Film and Sheeting  
777 13: 287-98.  
778

779 Hu Q., Luo Y. 2016. Polyphenol-chitosan conjugates: synthesis, characterization, and  
780 applications. Carbohydrate Polymers 151: 624-639.  
781

782 Khanbabaee K., Van Ree T. 2001. Tannins: Classification and Definition. Natural  
783 Products Report 18: 641–649.  
784

- 785 Kim J., Moreira R., Castell-Pérez M.E. 2015. Improving phytosanitary irradiation  
786 treatment of mangoes using Monte Carlo simulation. *Journal of Food Engineering*  
787 149: 137-143.  
788
- 789 Kim Y., Brecht J.K., Talcott S.T. 2007. Antioxidant phytochemical and fruit quality  
790 changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and  
791 controlled atmosphere storage. *Food Chemistry* 105: 1327-1334.  
792
- 793 Kokoszka S., Debeaufort F., Lenart A., Voilley, A. 2010. Water vapour permeability,  
794 thermal and wetting properties of whey protein isolate based edible films.  
795 *International Dairy Journal* 20: 53–60.  
796
- 797 López M.L., Gutiérrez M.P., Bautista B.S., Jiménez G.L.F., Zavaleta M.H.A. 2013.  
798 Evaluación de la actividad antifúngica del quitosano en *Alternaria alternata* y en la  
799 calidad del mango “Tommy Atkins” durante el almacenamiento. *Revista Chapingo*  
800 *Serie Horticultura* 19: 315-331.  
801
- 802 López-Mora L., Gutiérrez-Martínez P., Bautista-Baños S., Jiménez-García L., Zavaleta-  
803 Mancera H. 2012. Evaluación de la actividad antifúngica del quitosano en  
804 *Alternaria alternata* y en la calidad del mango “Tommy Atkins” durante el  
805 almacenamiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19: 315-331.  
806
- 807 Luna G., Arévalo M.L., Anaya S., Monter A., Acosta M., Leyva G. 2006. Calidad de  
808 mango Ataulfo sometido a tratamiento hidrotérmico. *Revista Fitotecnia de México*  
809 29: 123-128.  
810
- 811 Martínez-Ferrer M., Harper C., Pérez-Muñoz F., Chaparro M. 2002. Modified  
812 Atmosphere Packaging of Minimally Processed Mango and Pineapple Fruits.  
813 *Journal of Food Science* 67: 3365-3371.  
814
- 815 Mattiuz B., Ducamp-Collin M.N., Machado C., Vigneault C., Magalhães K., Sagoua W.,  
816 Montet D. 2015. Effect of propolis on postharvest control of anthracnose and  
817 quality parameters of ‘Kent’ mango. *Scientia Horticulturae* 184: 160-168.  
818
- 819 Mattoo A., Murata B., Pantastico B., Chachin K., Ogata K., Phan T. 1975. Chemical  
820 changes during ripening and senescence. In: *Post-harvest Physiology Handling*  
821 *and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables*. Avi Publishing  
822 Company, Inc., Westport, USA. pp. 103-127.  
823
- 824 Mitra S., Baldwin E. 1997. Mango. In: *Postharvest Physiology and Storage of Tropical*  
825 *and Subtropical Fruits*. S. K. Mitra (ed.). CAB International. pp: 85-122.  
826
- 827 Moalemiyan M., Ramaswamy H., Maftoonazad N. 2012. Pectin-Based Edible Coating  
828 for Shelf-Life Extension of Ataulfo Mango. *Journal of Food Process Engineering*  
829 35: 572-600.

830  
831 Moreira M.D., Pereda M., Marcovich N.E., Roura S.I. 2011. Antimicrobial effectiveness  
832 of bioactive packaging materials from edible chitosan and casein polymers:  
833 assessment on carrot, cheese and salami. *Journal of Food Science* 76: M54-M63.  
834

835 Murillo-Martínez M. M., Pedroza-Islas R., Lobato-Calleros C., Martínez-Ferez A.,  
836 Vernon-Carter E. J. 2011. Designing W-1/O/W-2 double emulsions stabilized by  
837 protein-polysaccharide complexes for producing edible films: rheological,  
838 mechanical and water vapour properties. *Food Hydrocolloids* 25: 577-585.  
839

840 Muy-Rangel M., Espinoza-Valenzuela B., Siller-Cepeda J., Sañudo-Barajas A., Valdez-  
841 Torres B., Osuna-Enciso T. 2009. Efecto del 1-MCP y de una película comestible  
842 sobre la actividad enzimática y calidad pos cosecha del mango "Ataulfo". *Revista*  
843 *Fitotecnia Mexicana* 32: 53-60.  
844

845 Olivas G.I., Mattinson D.S., Barbosa-Cánovas G.V. 2007. Alginate coatings for  
846 preservation of minimally processed "Gala" apples. *Postharvest Biology and*  
847 *Technology* 45: 89-96.  
848

849 Osorio E., Flores M., Hernández D., Ventura J., Rodríguez R., Aguilar C. 2010.  
850 Biological efficiency of polyphenolic extracts from pecan nuts shell (*Carya*  
851 *Illinoensis*), pomegranate husk (*Punica granatum*) and creosote bush leaves  
852 (*Larrea tridentata* Cov.) against plant pathogenic fungi. *Industrial Crops and*  
853 *Products* 31: 153-157.  
854

855 Osuna-García J.A., Guzman-Robles M., Tovar-Gómez B., Mata-Montes de Oca M.,  
856 Vidal-Martínez V. 2002. Calidad del mango Ataulfo producido en Nayarit, México.  
857 *Revista Fitotecnica Mexicana* 25: 367-374.  
858

859 Perdonés A., Vargas M., Atarés L., Chiralt A. 2014. Physical, antioxidant and  
860 antimicrobial properties of chitosan-cinnamon leaf oil films as affected by oleic  
861 acid. *Food Hydrocolloids* 36: 256-264.  
862

863 Pérez A., Ibargüend D., Pinzón N. 2012. Evaluación de transparencia y resistencia al  
864 vapor de agua en recubrimientos comestibles a base de gel de *Aloe barbadensis*  
865 Miller. *Vitae* 19: S126-S128.  
866

867 Pornchan J., Teerada W., Pranee R., Kanogwan S. 2016. Effect of molecular weights of  
868 chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of  
869 mango fruit. *Food Science and Technology* 73: 28-36.  
870

871 Ramos M., Bosquez E., Hernández J., Zavala G., Terres E., Alía I., Barrera L.  
872 Hernández M., Bautista S. 2012. Use of chitosan-based edible coatings in  
873 combination with other natural compounds, to control *Rhizopus stolonifer* and  
874 *Escherichia coli* DH5 $\alpha$  in fresh tomatoes. *Crop Protection* 38: 1-6.

875  
876 Rima K., Ramos L., Amorim S., Saraiva M., Leite E. 2017. Synergistic mixtures of  
877 chitosan and *Mentha piperita* L. essential oil to inhibit *Colletotrichum* species and  
878 anthracnose development in mango cultivar Tommy Atkins. *Food Microbiology* 66:  
879 96-103.  
880  
881 Rincón N., Olarte M., Pérez J. 2012. Determinación del área foliar en fotografías  
882 tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional.  
883 *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 65: 6399-6405.  
884  
885 Robles-Sánchez R., Rojas-Graü M., Odriozola-Serrano I., González-Aguilar G., Martín-  
886 Belloso O. 2012. Influence of alginate-based edible coating as carrier of  
887 antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut  
888 Kent mangoes. *Food Science and Technology* 50: 240-246.  
889  
890 Rongai D., Pulcini P., Pesce B., Milano F. 2016. Antifungal activity of pomegranate peel  
891 extract against *Fusarium* wilt of tomato. *European journal of Plant Pathology* 147:  
892 229-238.  
893  
894 Saltveit M.E., Yang S.F. 1987 Ethylene. In: Rivier L, Crozier A (eds) *Principles and*  
895 *practices of plant hormone analysis*. Ed. Academic Press. New York. pp 367–401.  
896  
897 Sánchez D., Contreras-Esquivel J.C., Nevárez-Moorillón G.V., Aguilar C.N. 2015.  
898 Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite  
899 esencial de limón Mexicano. *CyTA-Journal of Food* 13: 17-25.  
900  
901 Sánchez-Domínguez D., Bautista-Baños S., Castillo P. 2007. El efecto del quitosano en  
902 el desarrollo y morfología de *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. *Anales de Biología*  
903 29: 23-22.  
904  
905 Sánchez-González L, González-Martínez C., Chiralt A., Cháfer M. 2010. Physical and  
906 antimicrobial properties of chitosan–tea tree essential oil composite films. *Journal*  
907 *of Food Engineering* 98: 443-452.  
908  
909 Saucedo C., Lugo G., Villaseñor H., Partida L., Reyes A. 2015. Un método preciso para  
910 medir severidad de roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriksson) en trigo. *Revista*  
911 *Fitotecnia Mexicana* 38: 427-434.  
912  
913 Sebti I., Martial-Gross A., Carnet-Pantiez A., Grelier S., Coma S. 2005. Chitosan  
914 Polymer as Bioactive Coating and Film against *Aspergillus niger* Contamination.  
915 *Food Microbiology and Safety* 70: M100-M-104.  
916  
917 Sothornvit R., Rodsamram P. 2008. Effect of a mango film on quality of whole and  
918 minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology* 47: 407-415.  
919

- 920 Sperling L. H. 2005. Introduction to physical polymer science, 4<sup>th</sup> edition. Ed. Wiley.  
921 Hoboken, New Jersey, USA. 880 p.  
922
- 923 Sun Y., Liu Y., Li Y. Z., Lv M. Z., Li P. W., Xu H. L. 2011. Preparation and  
924 characterization of novel curdlan/chitosan blending membranes for antibacterial  
925 applications. Carbohydrate Polymers 84: 952-959.  
926
- 927 Sun X., Wang Z., Kadouh H., Zhou K. 2014. The antimicrobial, mechanical, physical  
928 and structural properties of chitosan-gallic acid films. Food Science and  
929 Technology 57: 83-89.  
930
- 931 Sun L., Sun J., Chen L., Niu P., Yang X., Guo P. 2017. Preparation and characterization  
932 of chitosan film incorporated with thinned young apple polyphenols as an active  
933 packaging material. Carbohydrate Polymers 163: 81-91.  
934
- 935 Ulloa J. A., Guatemala G. M., Arriola E., Escalona H. B., Díaz L. 2009. Estimation of the  
936 diffusivities of sodium chloride, potassium sorbate and sodium bisulphite in mango  
937 slices processed by hurdle technology. Journal of Food Engineering 91: 211-216.  
938
- 939 Vargas-Ortiz M.A., De la Cruz-Medina J., Espinoza de los Monteros J.J., Oliart-Ros R.,  
940 Rebolledo-Martinez A., Ramírez J.A., García H.S. 2013. Effect of High  
941 Hydrostatic Pressure on the Physiology of Manila Mango. Plant Foods for Human  
942 Nutrition 68: 137-144.  
943
- 944 Velickova E., Winkelhausen E., Kuzmanova S., Alves V., Moldão-Martins M. 2013.  
945 Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries  
946 (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. Food  
947 Science and Technology 52: 80-92.  
948
- 949 Ventura-Sobrevilla J., Belmares-Cerda R., Aguilera-Carbo A., Contreras-Esquivel J.C.,  
950 Rodríguez-Herrera R., Aguilar C.N. 2007. Fungal biodegradation of tannins from  
951 creosote bush (genitalicas *Larrea tridentata* cov.) and tar bush (*Fluorecencia*  
952 *cernua*) for gallic and ellagic acids production. Food Technology and  
953 Biotechnology 49: 256-267.  
954
- 955 Villalobos R., Chanona J., Hernández P., Gutiérrez G., Chiralt A. 2005. Gloss and  
956 transparency of hidroxypropil methylcellulose film containing surfactants as  
957 affected by their microstructure. Food Hydrocolloids 19: 53-61.  
958
- 959 Zhu X., Wang Q., Cao J., Jiang W. 2008. Effects of chitosan coating on postharvest  
960 quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruits. Journal of Food  
961 Processing and Preservation 32: 770–784.  
962
- 963

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

### 1. CONCLUSIONES

México sigue manteniéndose como líder en la exportación de mango a Estados Unidos; sin embargo, su competitividad ha disminuido, lo que ha ocasionado la pérdida de la participación en el mercado internacional. Para recuperar ese nicho, es importante la capacitación y asistencia técnica a los productores sobre el conocimiento y manejo de mercado, especialmente con respecto a los precios y a la comercialización de su producto. Además, el sector productivo debe invertir en estrategias de mercado y tecnología para mejorar la productividad y ofrecer al mercado frutos de mango de excelente calidad. Por ello, es importante ofrecer una tecnología como los recubrimientos comestibles de quitosano-ácido elágico que ayuden a darle mayor vida de anaquel al mango para que se comercialice en el mercado internacional.

El ácido elágico inhibió el crecimiento micelial, la germinación y la esporulación de *C. gloeosporioides*. La adición del ácido elágico a las películas de quitosano fue efectiva en la inhibición del crecimiento micelial y la germinación de esporas. Además, las películas de quitosano-ácido elágico presentaron buenas propiedades ópticas, de barrera y mecánicas, por lo que pueden aplicarse a diversos productos hortofrutícolas. Los recubrimientos de quitosano-ácido elágico alargan la vida de anaquel y mantienen las características fisicoquímicas del mango 'Manila', pero esta vida de anaquel no es la adecuada, sobre todo si quiere exportar a Europa, ya que se requiere mayor tiempo para que el producto llegue a su destino. Los recubrimientos a base de quitosano-ácido elágico también fueron efectivos en la severidad de la antracnosis; no obstante, resulta

necesario conocer la interacción de las propiedades antifúngicas del ácido elágico con respecto al quitosano para contribuir y mejorar la vida de anaquel de los productos hortofrutícolas.

## 2. RECOMENDACIONES

En este trabajo de investigación se analizó la utilización del quitosano como soporte de un agente antifúngico, para provechar las propiedades conjuntas de estos dos componentes; sin embargo, se deben realizar otros estudios con la finalidad de aclarar la interacción a nivel bioquímico entre estos dos elementos.

Es importante profundizar en un estudio a nivel celular para observar el efecto del ácido elágico sobre *Colletotrichum gloeosporioides*.

Realizar estudios del efecto de los recubrimientos comestibles sobre el contenido de antioxidantes, compuestos fenólicos y vitaminas en el mango, con la finalidad de observar si estos tratamientos mantienen estos compuestos bioactivos.

Se debe investigar los efectos de estos recubrimientos en la conservación de otros productos hortofrutícolas de importancia económica.