



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA

**ITM**

**TESIS:**

**“EFECTO DE UN RECUBRIMIENTO DE QUITOSANO Y ACEITE ESENCIAL DE ROMERO EN LA CALIDAD DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense*) DURANTE SU ALMACENAMIENTO”**

**PARA OPTAR EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA**

**PRESENTA:**

**IBQ. IRAM ANAHÍ GUILLÉN NORBERTO**

**ASESOR:**

**DR. VICTOR MANUEL TOLEDO LÓPEZ**

**COASESOR:**

**DR. ENRIQUE SAURI DUCH**

**MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO, 27/JUNIO/2018.**

## **DEDICATORIA**

A la luz de mis ojos, mi hermosa mujercita: Ximena.

A mi nuevo amor chiquito que me hace feliz solo por haber llegado a este mundo, mi

sobrina favorita: Isabella.

A mis padres, quienes son los pilares en mi vida, los cuales me sostienen día a día y sin ellos no estaría logrando esto, gracias por siempre estar y por no dejarme caer nunca.

Los amo.

## AGRADECIMIENTOS

A CONACYT primeramente, por la beca otorgada durante la maestría y que sin ella no habría podido realizar este trabajo.

Al Dr. Víctor Toledo, por darme la oportunidad de trabajar con él, por su apoyo y sus amables atenciones, al Dr. Enrique Sauri, quien siempre estuvo al pendiente de mí y quien tuvo la paciencia y la disposición para transmitirme los conocimientos necesarios para llevar a cabo este trabajo y al Dr. Moo por tener una opinión acertada y crítica para mejorarme académica y profesionalmente.

Al Dr. Jorge Ruiz, porque de principio a fin me alentó a luchar y trabajar de manera perseverante para poder alcanzar esta meta.

Al Dr. Luis Cuevas, por facilitarme su laboratorio y equipos para la realización de los experimentos, teniendo siempre un gesto amable para conmigo.

A Beto y a toda mi familia, quienes siempre están al pendiente de mí y me apoyan en cada decisión que tomo.

A Amado, quien es una pieza clave en mi vida y que a pesar de la distancia nunca me ha dejado sola, estando en las buenas y en las malas brindándome su apoyo incondicional, por eso y más te amo.

A Pardillo, que ahora más que nunca ha mostrado ser una amiga que mucha gente quisiera tener, gracias por siempre estar, te amo.

A mis amigos y compañeros, Hiram, Enrique, Emma, Janeth, Odri, Dra. Addy, de quienes aprendí muchas cosas, no solo en el ámbito académico sino personal y que mostraron siempre que los valores que los caracterizan hacen que valga la pena conservar su amistad. Haciendo una mención especial a Santos †, quien nos demostró día a día que debemos disfrutar al máximo cada momento que vivimos, gracias por todo y sigue iluminando tu camino con esa luz interior que tienes, un abrazo hasta donde te encuentres.

A Ale y a Darwin, quienes me abrieron las puertas de su casa cuando llegué a Mérida y que siempre demostraron su calidad de amigos, sin duda alguna pueden contar con el mismo apoyo que me dieron en su momento.

A Celia, Nitmar, Nidi, quienes siempre me brindaron una mano sincera y amistosa además de sus atenciones a Ximena dentro y fuera del laboratorio durante esta estancia.

A todas las personas del área de posgrado del ITM que de alguna manera aportaron para la realización de este trabajo.

## RESUMEN

La creciente demanda por prolongar la vida útil del chile habanero, conservando su calidad ha llevado a buscar alternativas a través de fuentes naturales. El quitosano forma películas y al igual que el aceite esencial de romero, su actividad antioxidante y antimicrobiana se ha comprobado en diferentes aplicaciones alimentarias. El objetivo de este trabajo fue optimizar y evaluar el efecto de un recubrimiento biodegradable de quitosano, tween 80 y aceite esencial de romero en el chile habanero en condiciones de almacenamiento. Los recubrimientos se formaron con quitosano al 2% m/v en una solución acuosa acidificada con ácido acético al 1% v/v, se utilizaron concentraciones de aceite esencial de romero del 1-5% v/m con respecto a la masa del quitosano y de tween 80 de 0.2-0.6% m/v como factores a analizar y como variable de respuesta los compuestos volátiles totales retenidos, cuya cuantificación se realizó mediante cromatografía de gases con una columna DP-5 (30m x 0.25mm x 0.25 $\mu$ m) El recubrimiento óptimo se aplicó a los chiles por inmersión y se colocaron a 85 % HR a 25 °C. Se analizó la apariencia general (marchitamiento del pedúnculo), color, pérdida de peso acumulado, °Brix, firmeza y la variación del contenido de ácido ascórbico como parámetros de calidad del chile. Los resultados obtenidos indican una diferencia significativa en la firmeza de los chiles, teniendo una pérdida del 45% en el lote control a diferencia de los chiles recubiertos que tuvieron solo un 26%, no hubo diferencia significativa en la pérdida de peso, color y ° Brix, sin embargo hay una ligera disminución en la pérdida del contenido de ácido ascórbico con un total del 7.08% comparado con 12.63% del control. El marchitamiento del pedúnculo se evidenció en los 3 lotes desde el tercer día del estudio, observándose color negro y de aspecto deshidratado. Se concluye que hubo un efecto del recubrimiento de quitosano/tween 80/AER en la firmeza del chile manteniendola durante más tiempo mediante una mayor resistencia a la ruptura, no tuvo efecto significativo alguno sobre el marchitamiento del pedúnculo. A pesar de ello, se logró una menor pérdida en el contenido de ácido ascórbico utilizando el recubrimiento óptimo comparado con el control al igual que en la pérdida de peso, en donde muestra un menor porcentaje acumulado entre esos grupos. Sin embargo, este efecto deseable perduró sólo durante los primeros 8 días. Estos resultados sugieren que el recubrimiento

optimizado de quitosano/tween 80/AER puede ser aplicado para la prolongación de la vida útil del chile habanero durante su almacenamiento.

## ABSTRACT

The growing demand to extend the shelf life of the habanero pepper, conserving its quality, has led to its passage through natural sources. Chitosan forms films and, like rosemary essential oil, its antioxidant and antimicrobial activity has been proven in different food applications. The objective of this work was to optimize and evaluate the effect of a biodegradable coating of chitosan, tween 80 and rosemary essential oil in habanero pepper under storage conditions. The coatings were formed with 2% m/v chitosan in a solution acidified with 1% v/v acetic acid, the rosemary essential oil levels of 1-5% v/m were used with respect to the mass of the chitosan. and tween 80 0.2-0.6% m/v as factors to be analyzed and as response variable the total volatile compounds retained, whose quantification was performed by gas chromatography with a DP-5 column (30m x 0.25mm x 0.25 $\mu$ m). The optimum coating was applied to the chilies by immersion and placed at 85% RH at 25 °C. The general appearance (wilting of the peduncle), color, accumulated weight loss, °Brix, firmness and variation of the ascorbic content as parameters of chili quality. The results were of a significant difference in the firmness of the chili peppers, having a 45% loss in the batch. Brix, however, has a slight decrease in the loss of ascorbic content with a total of 7.08%, with a 12.63% of the control. The wilting of the peduncle was evidenced in the 3 lots from the third day of the study, observing the black color and the dehydrated aspect. It is concluded that there was an effect of the coating of chitosan /tween 80/AER on the firmness of the chili pepper for a longer time due to a greater resistance to rupture, there was no important effect on the wilting of the peduncle. In spite of this, a lower loss in the content of ascorbic acid was obtained using the optimal control compared to the control of the weight as well as the weight loss, where a lower accumulated percentage among those groups is shown. However, this desirable effect lasted only during the first 8 days. These results suggest that the optimized coating of chitosan / tween 80 / AER can be applied to prolong the shelf life of habanero pepper during storage.

## INDICE GENERAL

Página

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	vi
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES.....	2
2.1 Chile Habanero ( <i>Capsicum chinense Jacq.</i> ) .....	2
2.1.2 Descripción botánica .....	2
2.1.3 Importancia del chile habanero .....	4
2.1.4 Producción de chile habanero en México.....	4
2.1.5 Usos de chile habanero.....	4
2.2 Importancia de la calidad .....	5
2.3 Maduración postcosecha .....	7
2.4 Conservación postcosecha .....	7
2.5 Vida útil .....	8
2.5.1 Pérdida de peso .....	9
2.5.2 Firmeza .....	9
2.6 Conservación de productos frescos .....	10
2.7 Películas y recubrimientos .....	11
2.7.1 Materias primas empleadas en la elaboración de películas y recubrimientos comestibles.....	13
2.7.1.1 Lípidos .....	13
2.7.1.2 Proteínas.....	14
2.7.1.3 Polisacáridos.....	14
2.7.2 Quitosano.....	15

2.7.2.1 Generalidades.....	15
2.7.2.2 Propiedades.....	16
2.7.2.3 Aplicaciones.....	17
2.7.2.4 Quitosano en películas y recubrimientos.....	18
2.7.3 Uso de quitosano en la elaboración de películas y recubrimientos comestibles.....	19
2.8 Aditivos en recubrimientos biodegradables.....	20
2.8.1 Aceites esenciales.....	20
2.8.2 <i>Rosmarinus officinalis L.</i> ....	21
2.8.3 Aceite esencial de Romero (AER).....	22
3. JUSTIFICACIÓN.....	23
4. OBJETIVOS.....	24
4.1 Objetivo general.....	24
4.2 Objetivos específicos.....	24
5. METODOLOGÍA.....	25
5.1 Estrategia general de trabajo.....	25
5.2 Materia prima.....	26
5.3 Recubrimientos: preparación.....	27
5.3.1 Diseño experimental.....	27
5.4 Análisis cromatográfico de las películas.....	27
5.3.2 Aplicación del recubrimiento a los chiles habaneros.....	28
5.4 Características de calidad evaluadas.....	28
5.4.1 Apariencia general.....	28
5.4.1.1 Pérdida de peso.....	28
5.4.1.2 Firmeza.....	28
5.4.1.3 Color.....	29

5.4.2	Análisis fisicoquímicos .....	29
5.4.2.1	Ácido ascórbico.....	29
5.4.2.2	Sólidos solubles totales (SST) .....	29
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	30
6.1	Optimización del recubrimiento quitosano/tween 80/AER.....	30
6.2	Efecto del recubrimiento en parámetros de calidad del chile habanero .....	32
6.2.1	Apariencia general .....	32
6.2.2	Pérdida de peso .....	33
6.2.3	Contenido de sólidos solubles totales (SST).....	35
6.2.4	Firmeza .....	35
6.2.5	Color .....	37
6.2.6	Ácido ascórbico.....	38
7.	CONCLUSIONES .....	39
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Página

<b>Figura 1.</b> Reacción de desacetilación de la quitina. (Vidal M. 2011).....	15
<b>Figura 2.</b> Película transparente de quitosano plastificada con glicerina. (Pereda M. 2014). .....	16
<b>Figura 3.</b> Dos de las principales formas de encapsulación: partículas mononucleares (izquierda) y agregados (derecha).....	21
<b>Figura 4.</b> Superficie de respuesta de la optimización de las formulaciones de quitosano/tween 80/AER.n. ....	31
<b>Figura 5.</b> Cambios en la apariencia del chile habanero con la aplicación de los diferentes tratamientos de Quitosano/AER durante 12 días de almacenamiento.....	33
<b>Figura 6.</b> Variación de la pérdida de peso del chile habanero durante su almacenamiento a 25 °C con los diferentes tratamientos.).....	34
<b>Figura 7.</b> Variación de ° Brix del chile habanero durante su almacenamiento a 25 °C con los diferentes tratamientos.....	35
<b>Figura 8.</b> Comportamiento del recubrimiento de Quitosano/AER sobre la firmeza del chile habanero durante su almacenamiento.. ..	36
<b>Figura 9.</b> Evolución del contenido de ácido ascórbico a lo largo del almacenamiento del chile habanero con los 3 tratamientos.....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

### Página

<b>Tabla 1.</b> Cambios químicos durante la maduración (Romojaro <i>et al.</i> , 1996).....	7
<b>Tabla 2.</b> Usos posibles de películas y recubrimientos comestibles.....	12
<b>Tabla 3.</b> Área total de los picos del cromatograma obtenidos de los recubrimientos de quitosano/tween 80/AER.....	30
<b>Tabla 4.</b> Valores óptimos para la formulación del recubrimiento quitosano/tween 80/AER.....	31
<b>Tabla 5.</b> Color de los chiles habaneros con los tratamientos de quitosano/tween 80/AER.....	37

## 1. INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) es uno de los principales cultivos de la Península de Yucatán y se ha convertido en un producto representativo que identifica a esta región. Las características de calidad del fruto como son el sabor, aroma, picor (pungencia) y color lo distinguen de los frutos producidos en otras regiones del país (Trujillo y Pérez, 2004), por lo que se considera de calidad superior a los cultivados en el resto del mundo.

La importancia del cultivo del chile habanero es su alta rentabilidad, retorno económico, competencia y demanda en el mercado. El chile habanero ya no sólo se comercializa en el mercado nacional. Ahora es conocido en el mercado internacional y, en países como Japón tienen una demanda importante.

Los principales factores que determinan la demanda son apariencia, madurez, valor nutritivo, sabor, vida útil, textura. El 80% de la producción de chile habanero se comercializa como fruto fresco y el 20% restante se dirige a la elaboración de salsas, pastas y deshidratados (SIAP, 2015).

Los recubrimientos comestibles basados en materiales naturales son una herramienta prometedora segura y saludable para extender la vida útil de los productos agrícolas frescos. (Dhall, 2013). Los aceites esenciales tienen compuestos bioactivos que han sido utilizados como conservadores de alimentos (Jo et al., 2014) y pueden ser añadidos a recubiertas para incrementar su efecto en la preservación de la calidad de las frutas y reducir la carga microbiana (Guerreiro et al., 2015; Salmieri, Lacroix, 2006; Vu et al., 2011).

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)

Este fruto es de origen sudamericano, proviene de las tierras bajas de la cuenca Amazónica y de ahí se dispersó a Perú durante la época prehispánica, hasta la cuenca del Orinoco en territorios de Colombia y Venezuela) Surinam, Guyana francesa y en el caribe, se dio después de la conquista y de ahí se llevó al continente africano en las primeras relaciones comerciales europeas con América (Long et al., 1998).

La *Capsicum Chinense* es la especie más cultivada en Sudamérica. En México se siembra principalmente en Yucatán, donde fue introducido probablemente desde Cuba, lo que podría explicar su nombre popular “habanero“. Este chile es uno de los de mayor pungencia y picor por su alto contenido de capsaicina que alcanza hasta las 500 mil unidades Scoville, por lo que es muy apreciado en el mundo y con creciente demanda en EUA, Japón, China, Tailandia, Inglaterra

#### 2.1.2 Descripción botánica

**Planta.** Es un arbusto de ciclo anual con un hábito de crecimiento determinado. Presenta una altura entre 43.5 y 150 cm. La ramificación es erecta, con tres a cinco ramas primarias y nueve a trece secundarias. La raíz es de tipo pivotante con un sistema radicular que varía de 1 a 2.3 m (Tun, 2001; Soria *et al.*, 2002).

**Tallo.** Es cilíndrico, erecto, glabro o pubescente. Presenta una altura de 30 a 120 cm y un diámetro que oscila entre 0.9 y 3.1 cm. Muestra una tendencia a formar tres tallos en la primera ramificación (Soria *et al.*, 2002).

**Hojas.** Son de color verde en distintas tonalidades, de forma oval a lanceolada, con simetría bilateral, simples, alternas, glabras y/o pubescentes. La longitud varía de 11.5/15 cm y el ancho de 4.8/10 cm (Soria *et al.*, 2002; Velasco, 2003).

**Flores.** Son hermafroditas, de color blanco-verdoso, con un tamaño que varía entre 1.5 a 2.5 cm de diámetro. Se forman en cada nudo o axila con una posición que va de intermedia a erecta, pudiéndose formar más de cinco flores por axila. La corola es de color amarillo verdoso con una longitud de 4.0/10.2 mm. Las anteras pueden ser moradas o verdes con una longitud de 2.0/3.7 mm. El filamento puede ser blanco, amarillo o morado con una longitud de 2.4/2.8 mm. El número de sépalos y pétalos varía entre 5 y 7. El ovario es súpero, frecuentemente tri o tetralocular. El estigma comúnmente se encuentra a nivel de las anteras lo cual facilita la autopolinización (Velasco, 2003).

**Fruto.** Se clasifica como una baya hueca acampanulada con terminación en punta, cuya forma puede ser puntuda, romo o hundida. Las dimensiones del fruto van de 4.5 /6 cm de largo por 2/3 cm de ancho. La longitud del pedúnculo es de 2.5/3.0 cm, y cuya unión con el fruto puede ser truncado a cordado. El grosor de pared de 1.5/2 mm con una constricción en la base. Esta constricción debajo del cáliz es una característica morfológica que separa a la especie *chinense* de *frutescens* (Cano, 1998). El arrugamiento transversal varía de intermedio a levemente corrugado. La epidermis es de tipo lisa o semirugosa. El fruto en estado inmaduro es de color verde en diversas tonalidades y a la madurez presenta variaciones de color como rojo, anaranjado, amarillo, café y blanco, los cuales son resultado de la combinación de las antocianinas y carotenoides en diferentes proporciones (Diario Oficial de la Federación, 2010; Laborde y Pozo, 1982; Muñoz y Pinto, 1966; Pozo, 1981; Velasco, 2003).

**Semilla.** Presenta una testa de color café claro a amarillo paja, de forma ovalada y textura lisa. El tamaño es pequeño con un diámetro entre 2.5/4.0 mm. El peso de 1000 semillas varía de 6 a 8 g aproximadamente. Por fruto se pueden encontrar entre 20 y 50 semillas, lo cual depende de las condiciones ambientales donde se desarrolla el cultivo (Velasco, 2003).

### **2.1.3 Importancia del chile habanero**

En México, el chile representa una tradición e identidad cultural que ha dado una caracterización especial a la cocina y cultura mexicana. (Ruiz et al 2011). Las características del chile habanero son sabor, aroma, pungencia, color y vida de anaquel debido a las condiciones de clima, suelo y ubicación de la región (Borges et al 2014).

Además de ser un símbolo de escozor posee características de interés comercial debido a su alto contenido de capsaicinoides acumulados en el fruto, contenido que se cree que pueda variar de acuerdo a las condiciones de estrés hídrico o nutricional, estos compuestos determinan el grado de picor en la mayoría de los frutos del género *Capsicum*, que son empleados por sus propiedades médicas y farmacológicas, en este caso la capsaicina es el principal capsaicinoide que tiene un efecto antiinflamatorio y conirritante. Por variedad se obtuvo una producción estimada de nueve mil 351 toneladas, con un valor de 166.9 millones de pesos, donde los principales estados productores de este cultivo fueron Yucatán, Tabasco y Campeche. (SAGARPA)

### **2.1.4 Producción de chile habanero en México**

El estado de Yucatán ocupó el 78.8% del total del área sembrada (2009) en la península de Yucatán, pero sus rendimientos fueron menores con respecto al estado de Quintana Roo (71.78 t/ha), debido a la alta tecnología de producción en invernaderos con los que este estado cuenta actualmente (26 ha) (SIAP, 2016).

### **2.1.5 Usos de chile habanero**

En la gastronomía yucateca, el chile habanero es el principal ingrediente de las salsas que se usan para acompañar diversos guisos y botanas (López et al., 2009). En la industria alimentaria el chile habanero es utilizado para la preparación industrial de salsas picantes (López et al., 2009), chiles enlatados o en conserva y pastas (Coop, 2011). Además se extraen pigmentos que se utilizan para dar color a salsas, quesos, aderezos,

gelatinas y otros alimentos procesados, de igual manera se pueden extraer oleorresinas y capsaicina (López *et al.*, 2009).

El chile habanero se caracteriza de entre los chiles más picantes, por presentar los niveles más altos de capsaicina. La extracción de este compuesto es muy importante en la industria farmacéutica, ya que es utilizado en la elaboración de productos como crema, parches para dolores musculares y artritis, linimentos para quemaduras y pastas dentales para el dolor de los dientes (López *et al.*, 2009).

Otros usos que se le atribuyen al extracto químico principal la capsaicina, son en gases lacrimógenos, aditivos en las pinturas marinas que evitan la proliferación de moluscos en el caso de las embarcaciones, como aditivo y colorante en la elaboración de cosméticos.

## **2.2 Importancia de la calidad**

El valor nutritivo de los alimentos es, hoy en día, una preocupación creciente del consumidor. Su exigencia deriva de su mayor conocimiento y de la necesidad de satisfacer sus requerimientos nutritivos.

El concepto de calidad aplicado a los productos agrícolas, en especial a la producción hortofrutícola, fue durante muchos años un concepto intuitivo y a veces utópico. Se valoraba principalmente el bajo precio, bastando que el alimento presentase un valor nutritivo razonable. El desarrollo socio-económico experimentado en la segunda mitad del siglo XX cambió dicha situación, y consecuentemente, todos los sectores involucrados en la comercialización de productos hortofrutícolas han pasado a exigir mayor calidad en las producciones del sector primario, como consecuencia de las exigencias de los consumidores (Carvalho, 2006).

La calidad en un producto se determina por la combinación de todas sus propiedades físicas, químicas y sensoriales que determinan la aceptación por el consumidor (Romojaro y Riquelme, 1994). Dicha combinación de características es distinta de

individuo a individuo, dependiendo de su actitud que está fuertemente influenciada por los hábitos y cultura del grupo al que pertenece (Ruiz-Altisent y Ubierna, 1996).

Todo producto alimenticio tiene cualidades positivas o negativas en un número más o menos grande, que se suman o se oponen. Un solo atributo inaceptable hará rechazable al alimento. Por lo tanto, es necesario conocer la composición y propiedades químicas del alimento, así como valorar sus propiedades organolépticas (Albi y Gutiérrez, 1996).

Las propiedades organolépticas son todas aquéllas descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las cuales pueden percibir los sentidos; por ejemplo: su sabor, textura, olor, color. Su estudio es importante en las ramas de la ciencia en que es habitual evaluar inicialmente las características de la materia sin la ayuda de instrumentos científicos.

La calidad de un producto engloba atributos sensoriales, valores nutritivos, constituyentes químicos, propiedades mecánicas, propiedades funcionales y defectos. Resulta obvia la necesidad de diferenciar entre parámetros mensurables (objetivos) y parámetros sensoriales (subjetivos). Además, la relación entre las medidas instrumentales y los atributos sensoriales (análisis descriptivo) y la relación entre estos atributos sensoriales y la aceptabilidad del consumidor deben ser consideradas. La calidad no es cuantitativa, por tanto no es mensurable. Para instrumentalizarla es necesario recurrir a las magnitudes que estén con ella relacionadas (Barreiro y Ruiz-Altisent, 2000).

Entre los factores que afectan a la calidad en la conservación, destacan los biológicos que están involucrados en el deterioro se incluye la respiración, producción de etileno, cambios en la composición (color, textura, aroma, sabor y valor nutritivo), desarrollo y crecimiento de microorganismos, desordenes fisiológicos, transpiración y pérdidas de agua, daños físicos y desordenes patológicos (Kader, 2005).

## 2.3 Maduración postcosecha

La maduración podría definirse en términos generales como la suma de cambios bioquímicos y fisiológicos que ocurren al final del desarrollo de los frutos, transformándolos en órganos atractivos para el consumo por parte de organismos que ayudan en la liberación y dispersión de las semillas (Giovannoni, 2001). Estos cambios, aunque son variables entre las especies, generalmente incluyen modificaciones del color a través de alteraciones en el contenido de clorofila, carotenoides y/o acumulación de flavonoide (tabla 1);; modificación en la textura por medio de cambios en la turgencia celular y la estructura y metabolismo de la pared celular; modificación de azúcares, ácidos y volátiles, que afectan la calidad nutricional, el sabor y el aroma; y aumento de la susceptibilidad a patógenos oportunistas (comúnmente asociada a la pérdida de integridad de la pared celular) (Giovannoni, 2004).

**Tabla 1.** Cambios químicos durante la maduración (Romojaro *et al.*, 1996).

<b>Criterio de calidad</b>	<b>Constituyente químico aplicado</b>		<b>Modificadores del criterio</b>
<b>COLOR</b>	Clorofila	Carotenos	Cambios de color de piel y pulpa
		Xantofilas	Coloraciones amarillo-rojizo
		Flavonoides	
		Antocianinas	
<b>SABOR</b>	Almidón	Carbohidratos	Aumento del dulzor
	Ácidos orgánicos		Disminución de la acidez
	Taninos	Proteínas	Aumento de la calidad nutritiva
<b>AROMA</b>		Compuestos orgánicos	Desarrollo del aroma y perfume
<b>TEXTURA</b>	Protopectinas		Disminución de la dureza, ablandamiento del fruto

## 2.4 Conservación postcosecha

Entre el 25 y 50% de la producción mundial de productos hortofrutícolas se pierden después de la cosecha, como resultado de los procesos de descomposición, infestación

por insectos y ataque de microorganismos. Por otra parte, el comercio de los productos hortofrutícolas y la preocupación por el desarrollo de normas de calidad y de salud van en aumento, (Yahia y Ariza, 2001).

La conservación postcosecha surge como una forma de aumentar el tiempo de conservación de los frutos, permitiendo un equilibrio entre la producción y las necesidades de consumo (Carvalho, 2006).

La correcta manipulación postcosecha de la fruta exige que se tenga en cuenta que se trata de estructuras vivas que tras la recolección siguen desarrollando los procesos metabólicos y manteniendo sus sistemas fisiológicos. Continúan respirando y transpirando y, como han perdido la fuente de agua y otras sustancias, dependen de sus reservas y de su propio contenido en agua; siendo, por tanto, productos perecederos (Wills *et al.*, 1999). La velocidad de deterioro de los productos hortofrutícolas es generalmente proporcional a su actividad respiratoria (Kader, 2002).

El método más importante para reducir la velocidad de pérdida de agua, exige disminuir la capacidad del aire del entorno, retener más agua. Esto se logra rebajando su temperatura y/o elevando su humedad relativa, es decir, reduciendo el déficit de presión de vapor entre el producto y el aire. El incremento de la humedad relativa del aire reduce el déficit de presión de vapor y, por tanto, la cantidad de agua evaporada del producto antes de que se sature el aire en su entorno. La pérdida de agua y el arrugamiento están más relacionados con el déficit de presión de vapor que con la humedad relativa, pero a temperatura constante. (Latifah *et al.* 2002).

La optimización de la calidad y la reducción de pérdidas en la cadena postcosecha de frutos y hortalizas son los principales objetivos de la tecnología postcosecha.

## **2.5 Vida útil**

La vida útil (“shelf life”) se puede definir como el periodo desde la recolección o la fabricación hasta el consumo, que un producto alimenticio permanece seguro y sano en

las condiciones recomendadas de producción y almacenamiento (Day, 1993). Esencialmente, la vida útil de los alimentos es el periodo que los alimentos permanecen en niveles aceptables de calidad desde el punto de vista organoléptico y de la seguridad. El concepto de 'vida útil' se refiere al tiempo máximo en el cual los frutos mantienen los niveles aceptables de calidad, desde todos los puntos de vista, después de su conservación, mantenidos a temperatura ambiente. Se pretende simular el tiempo máximo que el producto permanece expuesto en el punto de venta hasta su adquisición por el consumidor.

### **2.5.1 Pérdida de peso**

La pérdida de agua, asociada a la transpiración, es la mayor causa de deterioro en términos cuantitativos (pérdidas de peso) y cualitativos, como el arrugamiento de la piel, pérdidas de textura y calidad nutritiva. La transpiración es el resultado de la interacción de una fuerza motriz, representada por el gradiente de presiones de vapor en la superficie del fruto, en equilibrio con los espacios intercelulares y la atmósfera exterior, y una resistencia protagonizada por la piel y la capa de aire en contacto con la superficie del fruto (Correa, 2007).

### **2.5.2 Firmeza**

La firmeza es un atributo muy importante en la postcosecha de los frutos. El excesivo ablandamiento es uno de los principales factores determinantes de la pérdida de calidad, dado que los productos más firmes soportan mejor el manipuleo y el transporte y son menos propensos al desarrollo de hongos y podredumbres.

Generalmente, la firmeza o dureza de una fruta va disminuyendo conforme avanza su proceso de maduración. No obstante, debe tenerse en cuenta que la firmeza de un mismo tipo de fruta puede variar, bien por condiciones muy generales (como la variedad o la región de cultivo), o bien por motivos más específicos como el tamaño o la temperatura

de la fruta en el momento de medir, ya que cuanto mayor es el tamaño o la temperatura, menor firmeza presentará la fruta.

El deterioro también puede ser debido a las lesiones causadas por la manipulación, daños mecánicos, entre otros, causando degradación de la membrana celular, velocidad de respiración acelerada, esto causando la senescencia, crecimiento de microorganismos, siendo estas algunas causas que disminuyen la vida de anaquel de un producto.

## **2.6 Conservación de productos frescos**

Para mejorar la calidad de los productos frescos durante el almacenamiento, se han utilizado un gran número de recubrimientos elaborados a base de polisacáridos, incluyendo alginatos, carragenatos, celulosa, pectina, y derivados de almidón (Villamán, 2007).

Existen diversos reportes en los que se discuten los efectos de películas y recubrimientos a base de ceras y aceites en el control de la vida útil del plátano, mango, piña, papaya, guayaba y aguacate (García, 2008).

Actualmente se han investigado las propiedades y aplicaciones del uso de recubrimientos y películas que ayuden a la calidad de los alimentos y prolonguen la vida útil de éstos. Lo que se busca es, ir reemplazando paulatinamente los materiales sintéticos convencionales de los envases por materiales biodegradables que sean amigables con el ecosistema. En la actualidad, otro factor de gran relevancia es el gran interés de parte de los consumidores por ingerir alimentos frescos los cuales sean mínimamente procesados (Villamán, 2007).

Estos son, entre otros, fundamentos de gran fuerza que justifican el interés creciente en el tema de películas o recubrimientos comestibles biodegradables (Villamán, 2007).

## 2.7 Películas y recubrimientos

Las películas comestibles (PC) se definen como una capa delgada de material que puede ser consumida y proporciona una barrera a la humedad, al oxígeno y al movimiento de soluto por la comida (Bourtoom, 2008). Una película comestible una vez formada, se puede colocar en o entre los componentes de los alimentos (Falguera *et al.*, 2011). Un recubrimiento comestible (RC) es una capa delgada de material comestible formado sobre un producto alimenticio (Falguera *et al.*, 2011). De acuerdo a (Ramos *et al.*, 2010) los recubrimientos son matrices continuas formuladas a base de lípidos, proteínas, carbohidratos o mezclas de estos componentes, que les confieren diferentes propiedades fisicoquímicas. Un carbohidrato utilizado para la formulación de los recubrimientos comestibles es el quitosano, el cual reduce el crecimiento de hongos y bacterias.

La principal diferencia entre estos sistemas alimentarios es que el recubrimiento comestible se aplica en forma líquida en algún alimento, por lo general mediante la inmersión del producto en una solución de sustancia generadora, formada por la matriz estructural (carbohidratos, proteína, lípido o de la mezcla de componentes múltiples), y la película comestible se moldea primero en forma de láminas sólidas y posteriormente se aplica como una envoltura sobre el producto alimenticio (Falguera *et al.*, 2011).

Matriz estructural: los recubrimientos y las películas comestibles se suelen clasificar según la materia estructural. De esta manera, las películas y los recubrimientos se basan en proteínas, lípidos, polisacáridos o mezclas de estos componentes. Por ejemplo, una película puede consistir en lípidos e hidrocoloides (proteínas y polisacáridos), los cuales se combinaron para formar una bicapa o un clúster (Falguera *et al.*, 2011).

Las películas y los recubrimientos comestibles se elaboran con biopolímeros naturales de alto peso molecular que proporcionan una matriz macromolecular con resistencia cohesiva alta. Los tipos de macromoléculas que se emplean para este propósito son hidrocoloides (proteínas, polisacáridos) los cuales debido a su naturaleza hidrofílica, son muy sensibles al agua. Los otros componentes mayoritarios en la formulación lo

constituyen los lípidos y resinas, pero las formulaciones pueden incluir plastificantes, emulsificantes, agentes de superficie activa (surfactantes), agentes de liberación específica de compuestos, lubricantes, etc., por lo que realmente se trata de formulaciones multicomponentes (Bósquez, 2003).

Las películas o los recubrimientos comestibles pueden cumplir muchos de los requisitos involucrados en la comercialización de alimentos entre los que destacan el valor nutricional, la sanidad, alta calidad, estabilidad y economía, al realizar una o más de las funciones indicadas en la tabla 2.

**Tabla 2.** Usos posibles de películas y recubrimientos comestibles.

<b>FUNCIÓN / APLICACIÓN</b>	<b>TIPO ADECUADO DE PELÍCULA</b>
Retardar migración de humedad	Lípido, compuesto
Retardar la migración de gas	Hidrocoloide, lípido o compuesto
Retardar migración de aceite y grasa	Hidrocoloide
Retardar migración de soluto	Hidrocoloide, lípido o compuesto
Mejorar la integridad estructural o propiedades de manejo	Hidrocoloide, lípido o compuesto
Retener compuestos volátiles del sabor	Hidrocoloide, lípido o compuesto
Vehículo de aditivos alimentarios	Hidrocoloide, lípido o compuesto

**Fuente:** Bósquez, 2003.

Algunos estudios han reconocido la importancia de la evaluación de la matriz de preformado de películas comestibles con el fin de cuantificar diversos parámetros tales como propiedades mecánicas, ópticas y antimicrobianas, debido a que se crea una atmósfera modificada (AM), restringiendo la transferencia de gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) además de convertirse en una barrera para la transferencia de compuestos aromáticos (Miller y Krochta, 1997).

## **2.7.1 Materias primas empleadas en la elaboración de películas y recubrimientos comestibles**

Los recubrimientos comestibles tienen la característica de estar elaborados con materiales naturales como proteínas, lípidos y polisacáridos. Dependiendo de su composición, las propiedades funcionales de las películas o los recubrimientos finales varían, por lo que el conocimiento de la forma en que cada componente interactúa física y/o químicamente, ofrece la posibilidad de diseñar películas o recubrimientos con características estructurales y de barrera específicas para su aplicación en alimentos (Bósquez y Vernon, 2005).

### **2.7.1.1 Lípidos**

Los lípidos comestibles incluyendo lípidos neutros, ácidos grasos, ceras, y resinas son los materiales de revestimiento tradicionales para los productos frescos, que muestran la eficacia en la aplicación de barrera contra la humedad y mejoran la apariencia de la superficie (Lin y Zhao, 2007).

Por su naturaleza hidrofóbica los lípidos ejercen una buena barrera al vapor de agua, sin embargo, su falta de cohesividad e integridad estructural hace que presenten malas propiedades mecánicas, formando recubrimientos quebradizos (Saavedra y Algecira, 2010).

Para la formulación de una película comestible a base de lípidos, estos pueden formar el único componente, ser una capa sobre otra hidrocoloide o tener una emulsión de lípidos con el hidrocoloide (Callegarin *et al.*, 1997). Entre los materiales lipídicos que se han empleado para la elaboración de formulaciones destinadas a productos ligeramente procesados, se encuentran la cera de abejas, monoglicéridos acetilados, ácido esteárico, ácido láurico y ésteres de ácidos grasos (Ruiz, 2004).

### **2.7.1.2 Proteínas**

Las películas o los recubrimientos elaborados con proteínas también presentan gran permeabilidad al vapor de agua, 2 ó 4 veces más que los empaques plásticos, son buenas formadoras de películas y se adhieren a las superficies hidrofílicas. Sin embargo, pueden aumentar la resistencia a la transmisión de vapor de agua mediante la combinación de proteínas con materiales hidrofóbicos, estas películas compuestas, ofrecen una mayor expectativa de aplicación. Las principales proteínas que pueden ser empleadas en la elaboración de películas compuestas comestibles son: colágeno, gelatina, proteínas de leche, proteínas de soya, proteínas derivadas de los cereales, proteínas oleosas entre otras (Ruiz, 2004).

Las películas y los recubrimientos elaborados con proteínas se combinan con agentes plastificantes como el glicerol o el sorbitol. Y al igual que los recubrimientos de polisacáridos, tienen una permeabilidad alta al vapor de agua debido a su carácter hidrófilo (Michaca, 2004).

### **2.7.1.3 Polisacáridos**

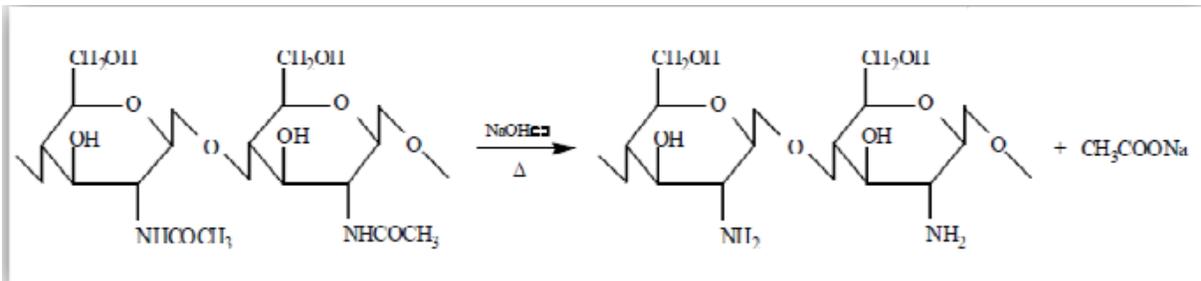
Los recubrimientos y las películas comestibles hechos de polisacáridos se han aplicado para prolongar la vida de anaquel de las frutas, hortalizas, productos marinos o carnes; para reducir su deshidratación y los niveles de O<sub>2</sub>, evitando la rancidez oxidativa y el obscurecimiento superficial, a pesar de que la mayoría de películas y recubrimientos a base de polisacáridos, no evitan por completo la pérdida de humedad (Ruiz, 2004). Estos recubrimientos muestran una elevada permeabilidad al vapor de agua, debido a su naturaleza hidrofílica. Los polisacáridos solubles en agua son polímeros de cadena larga en forma lineal o ramificada que poseen unidades glucosídicas que, como media, poseen tres grupos hidroxilos, por lo tanto forman puentes de hidrógeno con el agua, y las partículas de polisacáridos pueden tomar las moléculas del agua, hincharse con ellas y solubilizarse total o parcialmente dando un carácter espesante y/o gelificante a la fase acuosa (Ruiz, 2004).

Sin embargo, ciertos polisacáridos aplicados en forma de cobertura gelatinosa con alta humedad pueden retardar la pérdida de humedad en los alimentos ya que funcionan como agentes de sacrificio. Dentro del grupo de los polisacáridos que pueden ser empleados en el desarrollo de empaques comestibles se encuentran: almidón, carragenina, agar, pectina, alginatos, maltodextrina, derivados de celulosa y quitosano. Los recubrimientos de geles de alginatos, solos o en combinación con almidón, reducen el encogimiento, la pérdida por goteo y la aparición de aromas indeseables en productos crudos y cocidos, mejorando el color y la apariencia de los alimentos.

## 2.7.2 Quitosano

### 2.7.2.1 Generalidades

El quitosano es un polisacárido lineal que se obtiene por desacetilación extensiva de la quitina (figura 1) y está compuesto por dos tipos de unidades estructurales distribuidas de manera aleatoria (distribución Bernouliana) a lo largo de la cadena, la N-acetil-D-glucosamina y la D-glucosamina, las cuales se encuentran unidas entre sí por enlaces del tipo  $\beta(1\rightarrow4)$  glicosídicos. (Carballo., 2011)



**Figura 1.** Reacción de desacetilación de la quitina. (Vidal M. 2011)

Este polímero es altamente acetilado y es insoluble en agua. Es uno de los materiales biológicos más abundantes en el mundo y es después de la celulosa y el siguiente de la lignina, el polímero más sintetizado. (Kardas et al., 2012; Kasaai, 2009; Yeul & Rayalu, 2013).

La quitina se aísla principalmente de residuos de crustáceos (Alishahi y Aider, 2012). Está altamente ligada en complejos con otras sustancias, como las proteínas y los minerales. A escala industrial, un tratamiento ácido (descalcificación) seguido de un tratamiento alcalino (desproteínación), o simplemente en orden inverso, y una etapa de decoloración se utilizan para obtener la quitina. A fin de preparar el quitosano, un tratamiento alcalino más se realiza para desacetilar la quitina. Diferentes factores, como la concentración de álcali, el tiempo de incubación, relación de quitina/álcalis, la temperatura, la atmósfera, el tipo de fuente de quitina (tipo de polimorfología), tamaño de partícula, la N-desacetilación heterogéneo / homogéneo, y el proceso simple o múltiple juegan un papel en la N-desacetilación alcalina del quitosano y sus propiedades. (Lambertus, 2015)

### 2.7.2.2 Propiedades

El quitosano que tiene grupos catiónicos a lo largo de la cadena, se ha demostrado que tiene propiedades antimicrobianas contra bacterias, levaduras, mohos y hongos. (Friedman & Juneja, 2010; Rabea, Badawy, Stevens, Smagghe, & Steurbaut, 2003). El mecanismo con el cual actúa el quitosano es un componente antimicrobiano que no está totalmente aclarado, aunque existen algunas hipótesis sobre ello (Benhabiles et al., 2012; Jing et al., 2007).

Una de las propiedades más interesantes del quitosano es su capacidad de formación de películas como se aprecia en la figura 2. De hecho, el quitosano forma películas fuertes, flexibles, transparentes, resistentes a las grasas y aceites, y con buenas propiedades mecánicas y de permeabilidad. (Vásquez, 2011). Estas películas poseen baja permeabilidad al oxígeno (Aider, 2010; Martínez-Camacho et al, 2010). Además, el quitosano tiene propiedades tales como



**Figura 2.** Película transparente de quitosano plastificada con glicerina. (Pereda M. 2014)

biodegradabilidad, biocompatibilidad, no toxicidad y es renovable (Barikani et al., 2014). Además, es barato y disponible en el mercado. El bajo coste de material es necesario, ya que la aportación de material de embalaje al costo total del producto es altamente significativa (Aider, 2010). Las películas de quitosano pueden ser divididas en las películas o recubrimientos comestibles (<30 µm) para su aplicación directamente sobre los alimentos con el fin de mejorar la seguridad alimentaria y la vida útil.

### **2.7.2.3 Aplicaciones**

**Química analítica:** Cromatografías, intercambiadores de iones, absorción de iones de metales pesados y absorción de ácidos, fabricación de electrodos específicos para metales, etc.

**Biomedicina:** Membrana de hemodiálisis, suturas biodegradables, sustituyentes artificiales de la piel, agente cicatrizante en quemaduras (mejorando las funciones de las células inflamatorias), sistemas liberadores de fármacos, liberación de insulina, transporte de agentes anticancerígenos, tratamiento de tumores (leucemia), control del virus del SIDA, etc. (Lárez, 2003).

**Agricultura y ganadería:** Son muchísimas las aplicaciones en este campo que se han venido desarrollando. Entre las más comunes tenemos:

- Recubrimiento de semillas con películas de quitosano para su conservación durante el almacenamiento.
- Sistemas liberadores de fertilizantes.
- Agente bactericida y fungicida para la protección de plántulas (inicio de las plantaciones) (Lárez, 2006).

**Cosméticos:** Es amplia la aplicación de ambos biopolímeros en este campo. Se mencionan tres de las más conocidas:

- Fabricación de cápsulas para adelgazar
- Aditivo bactericida en jabones, cremas de afeitar, cremas para la piel, pasta dental, etc.

**Industria:** Papel, textil, alimentaria, soporte para inmovilización de enzimas en la producción de maltosa, espesante en alimentos, agente de oxidación controlada, agente preservante (Lárez, 2003).

**Tratamiento de agua:** Los principales usos son:

- Coagulante primario para aguas residuales de alta turbidez y alta alcalinidad.
- Floculante para la remoción de partículas coloidales sólidas y aceites de pescado.
- Captura de metales pesados y pesticidas en soluciones acuosas. Algunos copolímeros de injerto del quitosano muestran alta efectividad para remover metales pesados, especialmente los derivados de ácidos alquenedióicos (Lárez, 2006).
- Tratamientos de flotación para la remoción de aceite de pescado en agua y agentes filtrantes para piscinas y spas (Konovalova *et al.*, 2001).

#### **2.7.2.4 Quitosano en películas y recubrimientos**

El quitosano es de interés potencial como base de películas y recubrimientos comestibles, porque tiene propiedades de barrera al oxígeno, además de tener actividad bactericida y fungicida contra algunos patógenos de frutos (Miranda *et al.*, 2003).

En comparación con los otros materiales de envasado de alimentos de origen biológico, el quitosano tiene la ventaja de ser capaz de incorporar sustancias funcionales, tales como minerales o vitaminas y posee actividad antibacteriana. En vista de estas cualidades, las películas de quitosano se han utilizado como un material de envasado para la preservación de la calidad de una variedad de alimentos (Dutta *et al.*, 2009).

Las películas de quitosano son resistentes, duraderas y flexibles con propiedades mecánicas. Se emplean junto con otros elementos en recubrimientos para frutas, retrasando el envejecimiento, disminuyendo la oxidación, las pérdidas por transpiración y protegiendo frente al ataque de hongos (Ruiz, 2004).

### 2.7.3 Uso de quitosano en la elaboración de películas y recubrimientos comestibles

Existen muchos trabajos realizados de películas y recubrimientos a base de quitosano. Estos han demostrado la capacidad inhibitoria del quitosano frente a diversos microorganismos como *Listeria monocytogenes* (Coma *et al.*, 2002), *Staphylococcus aureus* (Coma *et al.*, 2003) o *Aspergillus niger* (Sebti *et al.*, 2005; Vargas *et al.*, 2007). Los recubrimientos a base de quitosano han manifestado la eficacia en el retraso de la maduración, la disminución de las tasas de respiración de frutas y verduras (Vargas *et al.*, 2006), la reducción de la pérdida de peso, marchitamiento de color, y la infección fúngica en pimientos, pepinos y tomates (El Ghaouth *et al.*, 1991b, 1992b).

Asimismo se encuentra el aumento de la vida útil poscosecha de diferentes frutas, como las cerezas (Romanazzi *et al.*, 2002), uvas (Romanazzi *et al.*, 2003) y fresas (El Gaouth *et al.*, 1991a; 1992a; Vargas *et al.*, 2006). Sin embargo, sólo se dispone de algunos trabajos realizados con mandarinas (Fornés *et al.*, 2005; Vargas *et al.*, 2007).

Así pues Iverson y Ager (2003) inventaron un antifúngico a base de un recubrimiento de quitosano mezclado con una emulsión de cera comestible y/o un conservante tal como benzoato de sodio, y/o un aditivo de adherencia tales como acetato de zinc, y/o un agente humectante. Han *et al.*, (2004a, 2004b) utilizaron recubrimientos de quitosano para extender la vida útil de las fresas frescas y frambuesas rojas. Incluso Park *et al.*, (2005) demostraron la función antifúngica de los recubrimientos de quitosano en fresas frescas, mostrando excelente compatibilidad del quitosano con otros agentes antifúngicos. Vargas *et al.*, (2006) evaluaron quitosano de alto peso molecular combinado con ácido oleico para preservar la calidad de las fresas, encontrando que la adición de ácido oleico no sólo mejora la actividad antimicrobiana del quitosano, sino también mejora la resistencia al vapor de agua de las muestras recubiertas.

Por otra parte, Jeon *et al.* (2002) aplicaron revestimientos a base de quitosano de arenque y filetes de bacalao. En este caso, tanto la inherente actividad antioxidante y las

propiedades de barrera al oxígeno de películas de quitosano, contribuyeron al control de la oxidación lipídica en los filetes de pescado.

La influencia de los recubrimientos a base de quitosano en términos de la oxidación de lípidos y la estabilidad del color, también se han examinado en la carne de res molida (Suman *et al.*, 2010).

## **2.8 Aditivos en recubrimientos biodegradables**

Cualquiera que sea el propósito del aditivo, es importante considerar que siempre existe la posibilidad de que puede alterar adversamente las propiedades de resistencia al vapor de agua, gases o transporte de solutos. La incorporación de diferentes aditivos, también puede modificar la permeabilidad de moléculas a través de la película (Anbinder *et al.*, 2007).

Un modo de diseñar películas con la permeabilidad mejorada consiste en la utilización de aditivos con una estructura química y funcionalidad diferente. Por otra parte, el rol de un aditivo en una matriz polimérica, durante el transporte de especies permeantes, puede ser explicado analizando los cambios de la superficie y las propiedades de la película. La capacidad de un aditivo para incorporarse a la matriz polimérica dependerá de la facilidad que tenga para ubicarse entre o dentro de las cadenas del polímero, unirse mediante interacciones electrostáticas, etc. Si dicha incorporación no se produce totalmente, tendrán lugar fallas micro y/o macroscópicas, debido a la separación de fases, entre otros (Anbinder *et al.*, 2007).

### **2.8.1 Aceites esenciales**

Son líquidos aromáticos obtenidos de diferentes partes de la planta y utilizados ampliamente en la industria alimentaria, como condimentos y saborizantes; y en las industrias farmacéutica, cosmética y tabacalera, como perfumes y esencias (Ochoa *et al.*, 2012).

Los aceites esenciales son fracciones líquidas volátiles (Rodríguez *et al.*, 2012) generalmente son mezclas complejas de más de 100 componentes que pueden ser:

- Compuestos alifáticos de bajo peso molecular (alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos).
- Monoterpenos.
- Sesquiterpenos.
- Fenilpropanos.

### **2.8.2 *Rosmarinus officinalis L.***

El romero (*Rosmarinus officinalis L.*) es una planta aromática conocida y utilizada desde antiguo como condimento y con fines medicinales (figura 3).

Por otro lado, el romero se utiliza como conservante y antioxidante natural en la industria de la alimentación. Esta acción, particularmente potente, se atribuye a la presencia de rosmanol, carnosol y otros diterpenos, con demostradas propiedades antioxidantes, si bien el ácido rosmarínico puede contribuir a tal acción. La planta se utiliza igualmente como condimento de alimentos y como ingrediente en la fabricación de licores, así como en la fabricación de jabones, desodorantes, cosméticos, perfumes, etc. (López M. 2008).



**Figura 3.** Planta de romero (*Rosmarinus officinalis L.*).

### **2.8.3 Aceite esencial de Romero (AER)**

Las hojas de romero contienen un 1,0-2,5% de aceite esencial que está constituido por monoterpenos como 1,8-cineol, alfa-pineno, alcanfor, alfa-terpineol, canfeno, borneol, acetato de bornilo, limoneno, linalol, mirceno, verbenona. También contiene sesquiterpenos como beta cariofileno. Sin embargo, la composición del aceite esencial de romero puede variar significativamente, en función de distintos factores como la parte de la planta recolectada, el grado de desarrollo de la planta en el momento de la recolección o la procedencia geográfica, entre otros (López, L. 2008).

Los estudios sobre la actividad farmacológica de los componentes del romero que se están llevando a cabo en la actualidad se dirigen mayoritariamente hacia los diterpenos (especialmente el rosmanol), por el gran interés que suscitan sus propiedades antioxidantes. Finalmente, la esencia de la planta tiene propiedades antibacterianas, antisépticas, fungicidas y balsámicas (López, L. 2008).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Durante varias décadas se han presentado grandes pérdidas de algunos alimentos debido a un manejo postcosecha inadecuado, por lo que se han implementado varias metodologías para retrasar el proceso biológico natural de los frutos frescos, de las cuales una de las más importantes son las películas o recubrimientos de los alimentos, que deben tener buenas propiedades mecánicas y de barrera a la humedad, permitiendo a los productos alimenticios mantenerse en buen estado con excelentes características organolépticas.

El chile habanero es un fruto con demanda en aumento tanto a nivel nacional como internacional y tiene una vida útil relativamente corta, aproximadamente de 5-7 días a  $25\pm 2$  °C, por esta razón se requiere disponer de métodos o tecnologías sencillas que permitan incrementar la facilidad de su conservación para tener una mejor comercialización del producto fresco, conservando sus características organolépticas y así mantener la calidad del chile habanero. La pérdida de algunos fitoquímicos puede ser sustancial debido a su alta susceptibilidad a la pérdida de humedad, lo que provoca su marchitamiento.

El quitosano es un polímero con potencial como material de conservación de alimentos que interactúa con el medio circundante por su capacidad de formar películas. La incorporación de aditivos como lo son los aceites esenciales en estas películas representa una alternativa funcional en los recubrimientos, además de tener propiedades antioxidantes y antimicrobianas, cuyo fin es conservar por más tiempo las características fisicoquímicas y en consecuencia, las características organolépticas (calidad y apariencia) del chile habanero.

Se han aplicado recubrimientos funcionales sobre frutas y hortalizas, mas no hay reportes suficientes sobre el efecto que los recubrimientos pueden tener en el chile habanero durante su almacenamiento.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general

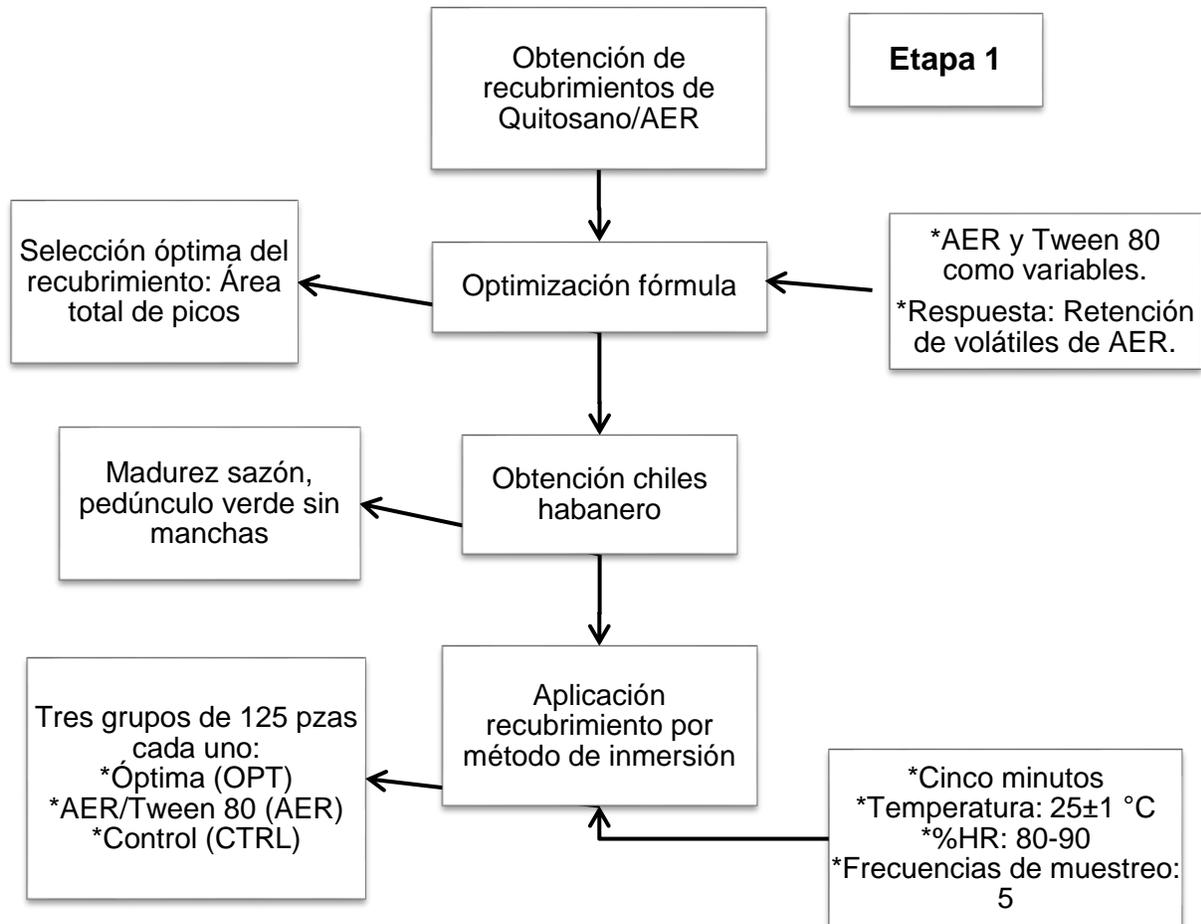
- Optimizar la formulación de un recubrimiento elaborado a base de quitosano/tween 80/AER y evaluar su efecto en la vida útil de chile habanero (*Capsicum chinense*).

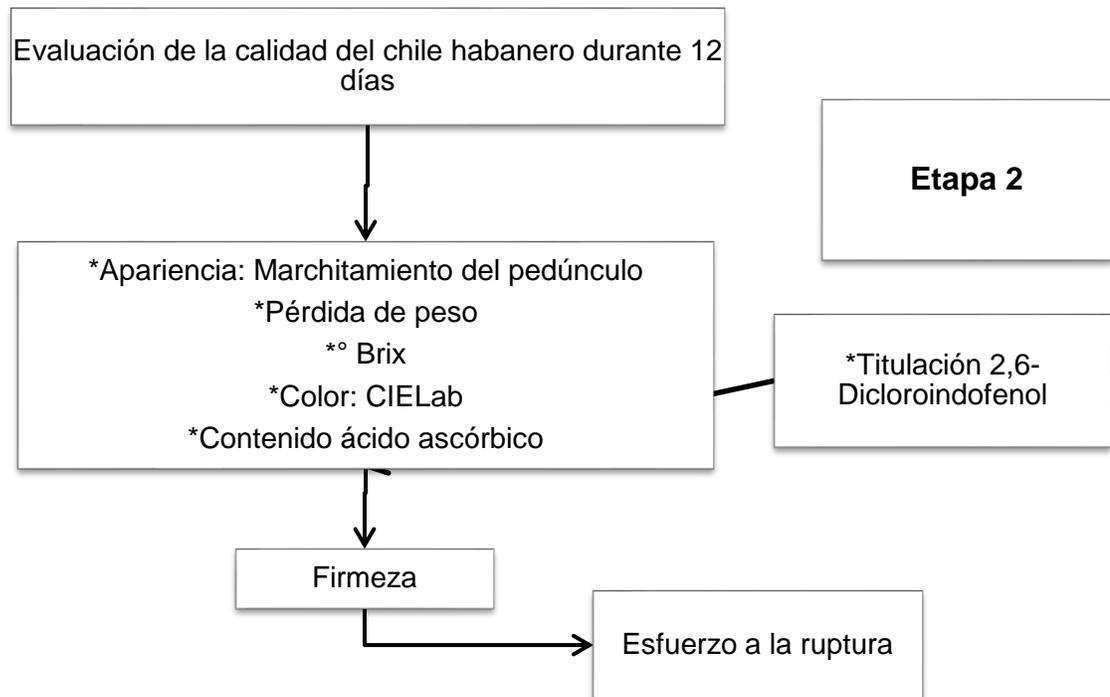
### 4.2 Objetivos específicos

- Determinar la concentración óptima de tween 80 y AER relación óptima tween 80:AER para la formulación de un recubrimiento con mayor retención de compuestos volátiles (OPT).
- Evaluar el efecto de OPT en la variación de la pérdida de peso, apariencia general, color y firmeza de *Capsicum chinense* durante su almacenamiento.
- Evaluar el efecto de OPT en la variación del contenido de ácido ascórbico y °Brix de *Capsicum chinense* durante su almacenamiento.
- Determinar la efectividad de OPT en el incremento de la vida útil del chile habanero almacenado a temperatura ambiente ( $25\pm 2$  °C).

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Estrategia general de trabajo





## 5.2 Materia prima

Los chiles habaneros (*Capsicum chinense*) utilizados fueron recolectados en la localidad de Halachó, Campeche, México (Octubre 2017); en promedio pesaron 4.81 g y eran de color verde claro a opaco (tono característico de estado sazón de maduración), con una forma acampanada con puntas chatas, una superficie lisa y dura (Figura 7).

Una vez en el laboratorio, los frutos de seleccionaron de acuerdo a su tamaño homogéneo, color del pedúnculo y que no presentaran daños. Se lavaron con agua y se dejaron secar a temperatura ambiente. Posteriormente se colocaron en bandejas y se obtuvieron 3 grupos con 126 chiles, a la vez se dividió en dos sublotes, clasificándose como tratamiento con recubrimiento óptimo (OPT), tratamiento solo con aceite esencial de romero (AER) y los chiles sin ningún tratamiento llamado control (CTRL).

### **5.3 Recubrimientos: preparación**

Se preparó 500 mL de la formulación del recubrimiento con quitosano al 2% (w/v) en una solución acuosa de ácido acético al 1% (w/v). La solución se mezcló durante 6/8 h a temperatura ambiente hasta disolverse completamente. Se añadió glicerina (30% w/w) con respecto al peso del quitosano y se agitó vigorosamente hasta mezclarse por completo. Posteriormente se agregó AER y finalmente de Tween 80. Se homogeneizó la solución con un ultraturrax a una velocidad de 12500 rpm durante 5 min para formar la emulsión requerida en el caso del tratamiento óptimo (OPT), el tratamiento del AER se preparó de manera similar pero sin la adición del quitosano. Las emulsiones se envasaron y se almacenaron a  $25 \pm 2$  °C para su posterior uso. (Ojagh, Rezaei, Razavi, & Hosseini, 2010).

#### **5.3.1 Diseño experimental**

Se realizó un diseño experimental con un modelo factorial de  $2^2$  completamente al azar siendo la concentración de AER con límites de 1-5% m/v y de tween 80 con límites de 0.2-0.6% m/v los factores a evaluar y teniendo como variable de respuesta el porcentaje total de compuestos volátiles retenidos en las películas (%).

### **5.4 Análisis cromatográfico de las películas**

La cantidad de compuestos volátiles retenidos en las películas se calculó mediante cromatografía de gases (GC) usando un cromatógrafo Perkin Elmer modelo Clarus 500 equipado con una columna capilar DB-5 (30 m x 0.25 mm x 0.25  $\mu$ m) bajo las siguientes condiciones analíticas: helio como gas acarreador, flujo constante de 1.0 ml/min, temperatura del inyector de 265 °C, horno programado de 60 a 220°C con una rampa de temperatura de 5 °C/min, temperatura del detector de 270 °C. El volumen de inyección fue de 2  $\mu$ l de una solución de diclorometano con extracto de las películas concentrado y AER al 0.5% v/v, el total de compuestos volátiles retenidos fueron expresados en porcentaje de área total (%) (Adams, 2001).

### **5.3.2 Aplicación del recubrimiento a los chiles habaneros**

Los recubrimientos de quitosano/tween 80/AER y AER se aplicaron en los chiles por el método de inmersión. (Oliveira et al., 2014). Los chiles recubiertos se dejaron secar por varias horas a temperatura ambiente y con ventilación, para después ser utilizadas en cada estudio de almacenamiento. Se estudiaron los cambios de calidad del chile habanero a temperatura ambiente durante 12 días, para lo cual se evaluaron las características de calidad de los éstos realizando muestreos en los días 0, 3, 6, 9 y 12 de la aplicación de los tratamientos. Antes de iniciar el tratamiento se realizó una caracterización a la materia prima. Las características de calidad que se evaluaron fueron: contenido de ácido ascórbico, firmeza, pérdida de peso, apariencia general de los chiles (marchitamiento del pedúnculo) mediante una escala que fue de buena a mala apariencia, ° Brix y color.

## **5.4 Características de calidad evaluadas**

### **5.4.1 Apariencia general**

#### **5.4.1.1 Pérdida de peso**

Se determinó la pérdida del peso de la muestra con y sin recubrimiento (20 frutos de cada grupo) durante su almacenamiento, a una temperatura de  $25\pm 3^{\circ}\text{C}$  en los días 0, 3, 6, 9 y 10 con una balanza digital Sartorius Electronic Toploader (1006 MP9 USA), mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{P2 - P1}{P1} \times 100$$

#### **5.4.1.2 Firmeza**

La firmeza se evaluó mediante el esfuerzo a la ruptura de los chiles. Las pruebas se llevaron a cabo mediante un ensayo de tensión uniaxial usando una prensa INSTRON serie 4400 de pruebas universales equipado con una celda de carga de 50 N. La velocidad de desplazamiento de las crucetas fue de 20 mm/min. Para esto se utilizó un punzón de 12.7 cm de diámetro, usando un nivel máximo de carga, los resultados fueron expresados en Kgf.

### 5.4.1.3 Color

Se utilizó un colorímetro (Hunterlab marca Xrite, Miniscan EZ, USA). El equipo se calibró con un estándar de color blanco y negro. Las lecturas fueron por triplicado con 5 frutos de cada grupo en puntos aleatorios sobre la superficie del espécimen de estudio. Los resultados se reportaron utilizando el sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).

## 5.4.2 Análisis fisicoquímicos

### 5.4.2.1 Ácido ascórbico

La vitamina C se determinó por volumetría basándose en el cambio del indicador 2, 6 diclorofenolindol por el ácido ascórbico. Se tomaron 5 g de muestra obtenidos de 5 piezas de chile por cada muestreo realizado, utilizando una solución madre de ácido ascórbico de 1 mg/ml para la titulación del colorante. Los resultados fueron expresados en mg de ácido ascórbico en 100 g de muestra. El contenido de vitamina C presente en la muestra se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Vitamina C (mg100g)} = \frac{0.5 \times V2 \times 100}{V1 \times VA \times P} \times 100$$

Donde:

$V1$ = volumen gastado en ml del reactivo indicador con la solución del ácido ascórbico.

0.5= miligramos de ácido ascórbico equivalentes a 1 mL de reactivo indicador.

$VA$  = volumen en ml de la alícuota valorada.

$P$ = peso de muestra en gramos.

$V2$ = volumen en ml del indicador con la que se valoró la muestra.

### 5.4.2.2 Sólidos solubles totales (SST)

Las muestras con y sin recubrimiento de cada grupo, se licuaron hasta obtener la muestra triturada en su totalidad. Después se colocó una gota hasta que cubriera totalmente el orificio del refractómetro manual, se tomó la lectura por triplicado de cada muestra de

cada grupo, el contenido de SST se reportó como °Brix. La determinación de sólidos solubles totales se hizo con un refractómetro digital de laboratorio ATAGO.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

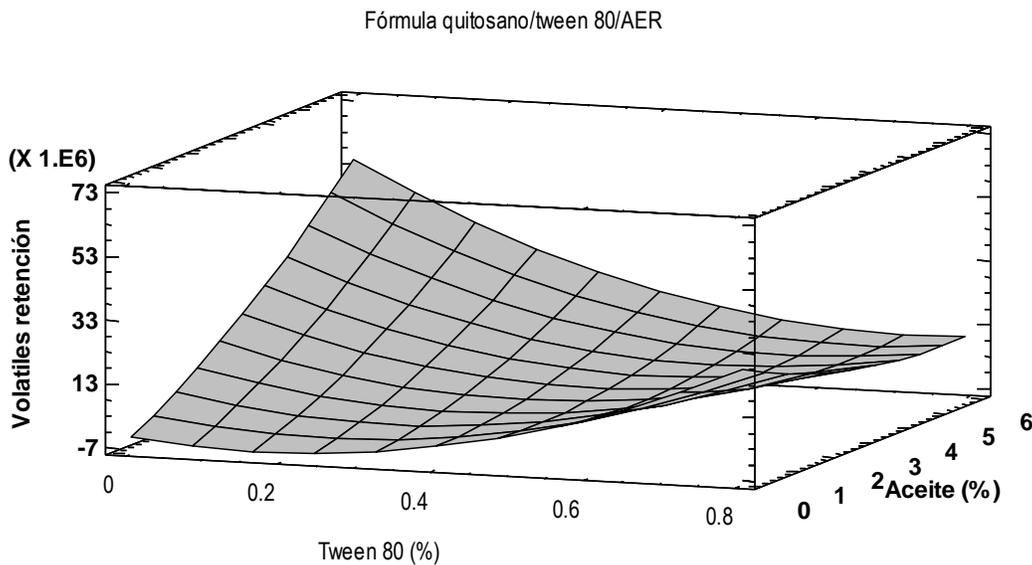
### 6.1 Optimización del recubrimiento quitosano/tween 80/AER

Se realizaron un total de 22 tratamientos incluyendo una repetición de cada una, al igual que los 3 puntos centrales. En la tabla 3 se muestran las áreas obtenidas de todas las corridas inyectadas en el GC.

**Tabla 3.** Área total de los picos del cromatograma obtenidos de los recubrimientos de quitosano/tween 80/AER.

Bloque	Tween 80 (%)	AER (%)	Retención volátiles (% área total)
1	0.2	1	448202
1	0.6	1	675588
1	0.2	5	38203905
1	0.6	5	12880233
1	0.117157	3	2528054
1	0.682843	3	9947039
1	0.4	0.171573	1516531
1	0.4	5.82843	6448581
1	0.4	3	3350791
1	0.4	3	3350791
1	0.4	3	3821358

La formulación óptima obtenida fue con los valores de 0.11% de tween 80 y 5.82% de AER, siendo estas la concentraciones a usar para la preparación de los recubrimientos para el chile habanero.



**Figura 4.** Superficie de respuesta de la optimización de las formulaciones de quitosano/tween 80/AER.

La tabla 4 muestra la combinación de los niveles de los factores los cuales maximiza los compuestos volátiles sobre la región indicada en la gráfica de la figura 3, donde se aprecia el comportamiento de las retenciones de los diferentes tratamientos realizados.

**Tabla 4.** Valores óptimos para la formulación del recubrimiento quitosano/tween 80/AER.

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
Tween 80 (%)	0.11	0.68	<b>0.11</b>
Aceite (%)	0.17	5.82	<b>5.82</b>

## **6.2 Efecto del recubrimiento en parámetros de calidad del chile habanero**

### **6.2.1 Apariencia general**

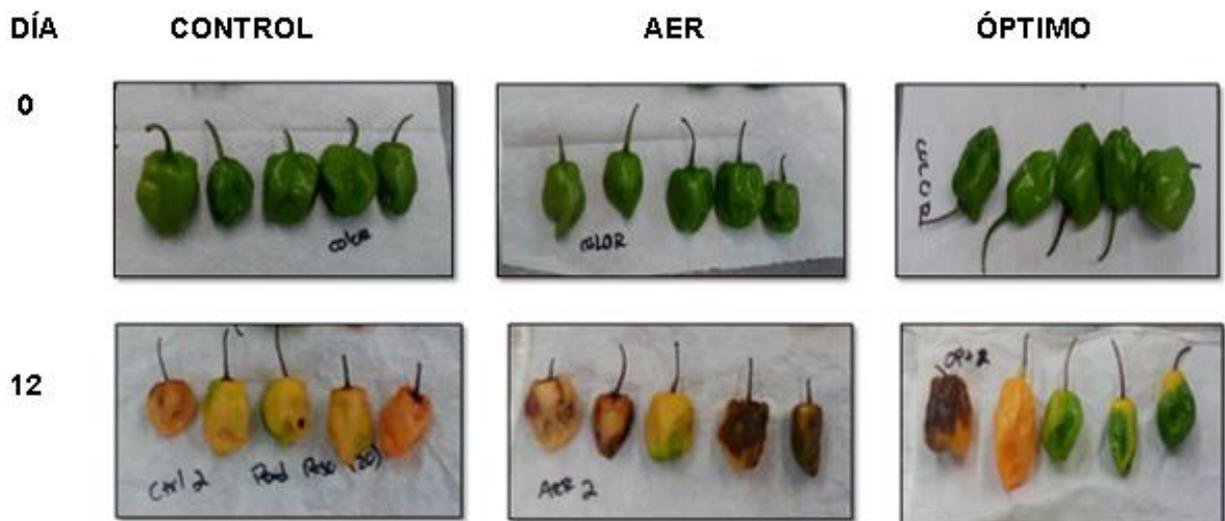
A lo largo de los 12 días, se muestra el cambio de la calidad captada por los sentidos del tacto y visual de los chiles habaneros.

A lo largo del almacenamiento de los 12 días, se pudo observar que los chiles con el recubrimiento tuvieron un mejor aspecto visual, tomando en cuenta el color del pedúnculo. Para determinar esta parte, se tomaron en cuenta 3 aspectos del pedúnculo, el primero fue el pedúnculo verde, con partes negras y el pedúnculo completamente negro (figura 4).

En el experimento se pudo observar que las muestras con el recubrimiento no conservaron el pedúnculo con el color verde, puesto que al cabo del día 3 cambió a color negro opaco y con un aspecto deshidratado en todos los lotes. Las muestras del lote control en la cual disminuyó considerablemente esta característica del pedúnculo a partir del primer día y en el día 12 sólo se observaron chiles del lote control con pedúnculos negros.

De igual forma, en el aspecto de la textura al tacto se tomaron 3 puntos, rígida, suave y arrugada, en donde se pudo observar que los chiles con la fórmula óptima conservaron mejor su textura al tacto. Sin embargo, en el lote control y AER se observó de inmediato el cambio suave en la textura de los frutos.

El aspecto arrugado en los chiles se pudo apreciar en el día 5 del lote con los chiles recubiertos, puesto que se puede atribuir esta mejora a la película de quitosano/tween 80/AE.



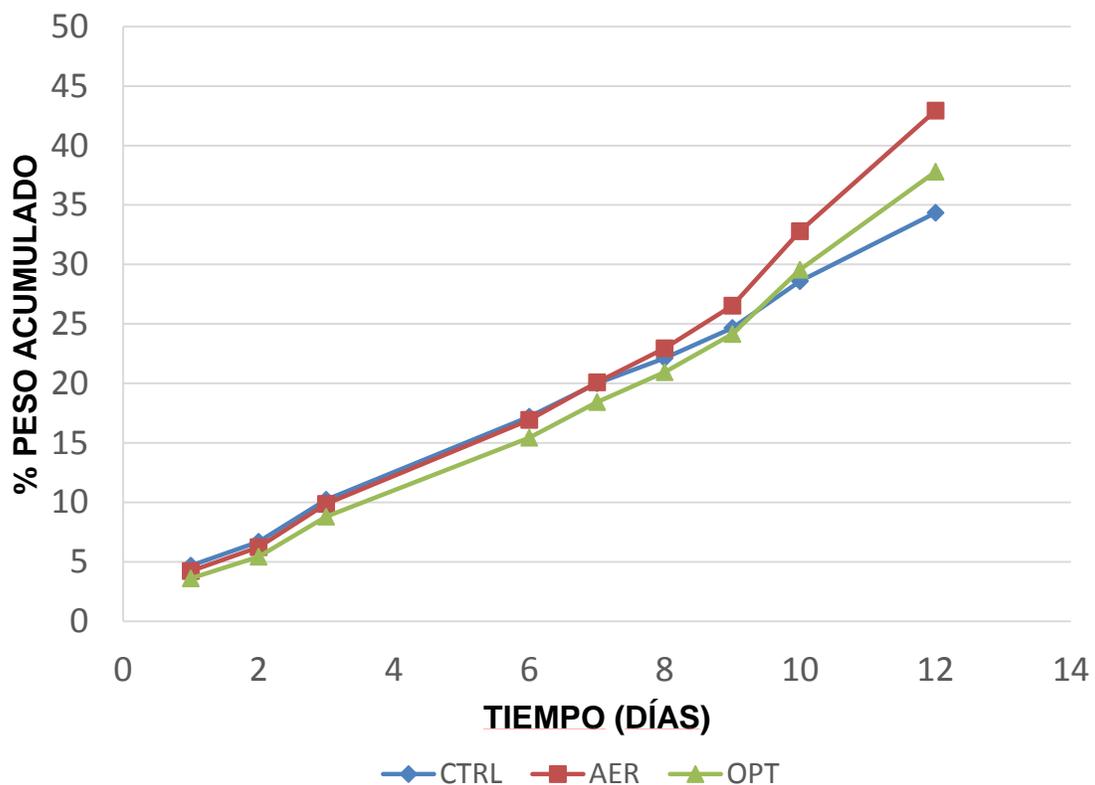
**Figura 5.** Cambios en la apariencia del chile habanero con la aplicación de los diferentes tratamientos de Quitosano/AER durante 12 días de almacenamiento.

### 6.2.2 Pérdida de peso

La pérdida de peso en los frutos es causada por la transpiración, es decir los frutos pierden agua (deshidratación). Díaz y col. (2006) mencionan que hay una pérdida de peso del 26% en frutos de *C. chinense* a través del cáliz. Estas pérdidas pueden ser incrementadas por la relación superficie/volumen, las lesiones mecánicas en el epicarpio del fruto y la naturaleza de las películas de cubrimiento (Hevia *et al*, 2000).

Como se puede observar en la figura 5, el lote control alcanzó en el día 8 una pérdida acumulada del 22.12% a diferencia del lote recubierto con la fórmula óptima teniendo una pérdida acumulada del 20%, lo cual indica que el tratamiento con el recubrimiento produce diferentes efectos sobre la pérdida de peso durante el tiempo de evaluación. Estos resultados indican que este fenómeno puede ser disminuido por la recubierta biodegradable empleada.

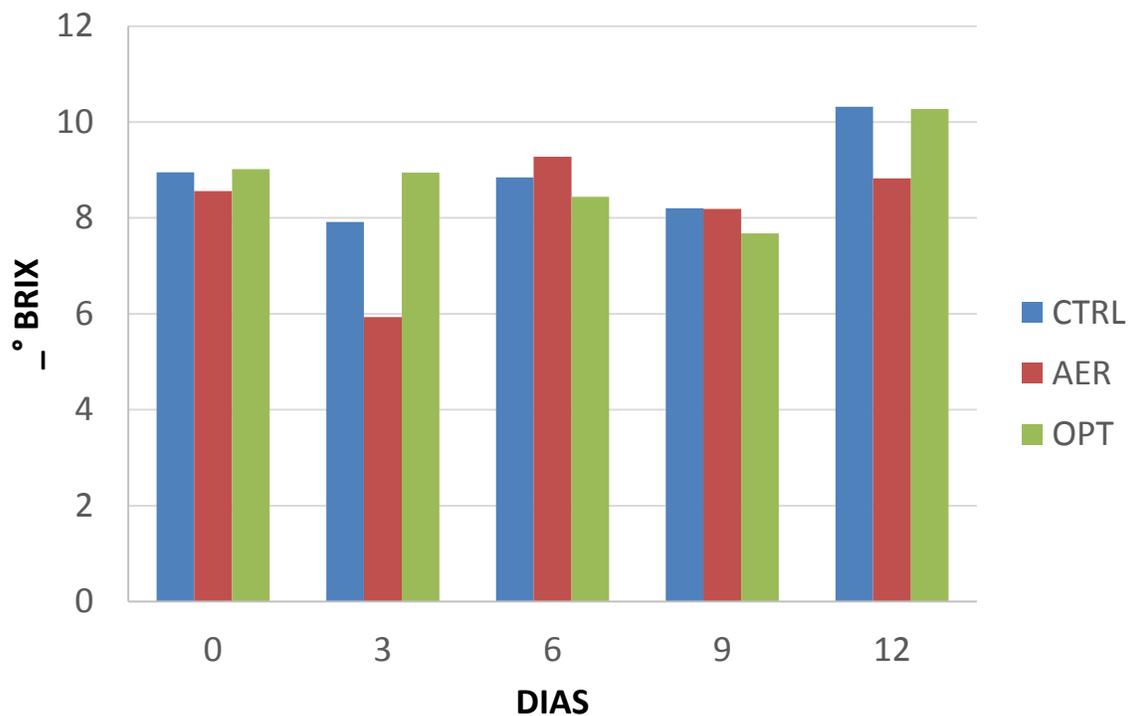
Un factor importante relacionado con la pérdida de agua del producto es la naturaleza de la superficie del recubrimiento. En este caso, la cubierta OPT actúa como una barrera física, dificultando el movimiento del aire en torno al chile habanero, siendo más importante que su espesor la resistencia que ofrece al paso del agua y a la difusión de los gases. A la vez, el recubrimiento actúa positivamente reduciendo la diferencia de presión de vapor entre el producto y el aire. Así, se produce una microatmósfera al interior de los chiles reduciendo la tasa de respiración y la consecuente pérdida de agua (Krarup, 1985; Watkins y Zhang, 1998).



**Figura 6.** Variación de la pérdida de peso del chile habanero durante su almacenamiento a 25 °C con los diferentes tratamientos.

### 6.2.3 Contenido de sólidos solubles totales (SST)

La concentración de azúcares es determinada por la cantidad de sólidos solubles totales. En el análisis realizado no se mostró una diferencia respecto al tiempo de almacenamiento, los valores de azúcar se incrementaron en todos los tratamientos al final del estudio. La madurez se reflejó de manera más rápida en el grupo control aumentando los azúcares en los 12 días de evaluación (figura 6).

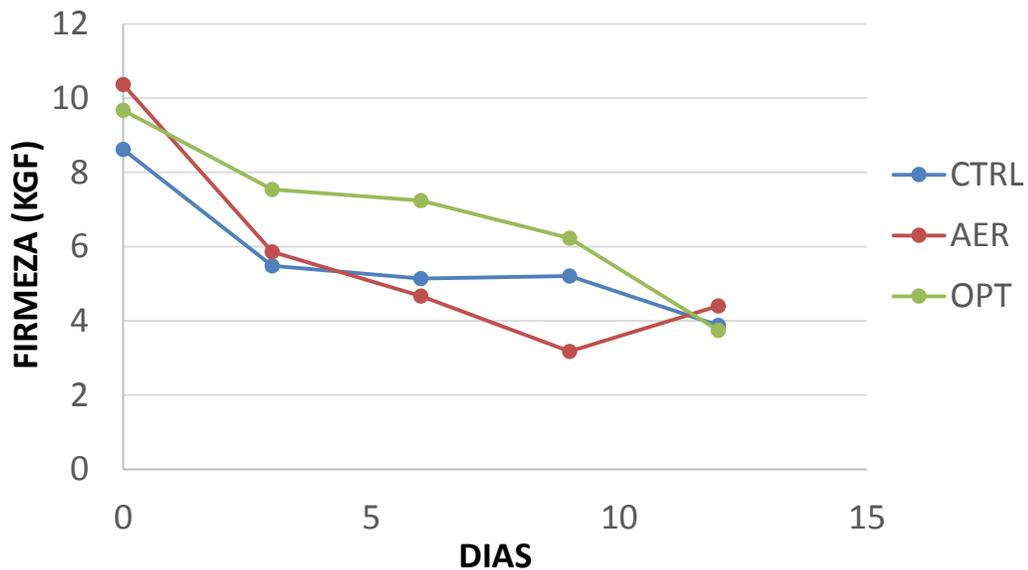


**Figura 7.** Variación de ° Brix del chile habanero durante su almacenamiento a 25 °C con los diferentes tratamientos.

### 6.2.4 Firmeza

La firmeza es un atributo muy importante en la postcosecha de los frutos. El excesivo ablandamiento es uno de los principales factores determinantes de la pérdida de calidad, dado que los productos más firmes soportan mejor la manipulación y el transporte y son menos propensos al desarrollo de hongos y podredumbres (Pombo, 2006).

La firmeza de los chiles habaneros conservados con recubrimientos naturales y el lote control presentaron una diferencia en el comportamiento de disminución a lo largo de los 12 días de tratamiento; sin embargo, fueron las muestras conservadas con el recubrimiento óptimo las que mantuvieron la mayor firmeza, habiendo diferencia significativa entre ellos. Como se aprecia en la figura 7 los chiles del lote control mostraron mayor disminución al final del estudio perdiendo un 45% de su firmeza inicial, a diferencia de las muestras que tenían el recubrimiento quienes registraron un 24% de pérdida, lo que se puede atribuir este efecto deseable a este mismo.



**Figura 8.** Comportamiento del recubrimiento de Quitosano/AER sobre la firmeza del chile habanero durante su almacenamiento.

La pérdida de firmeza o ablandamiento de los frutos durante la maduración está asociada con la actividad de varias enzimas de la pared celular.

## 6.2.5 Color

Los parámetros que indican el color de los chiles con el recubrimiento de quitosano/tween 80/AER en la escala CIELAB se presentan en la Tabla 5.

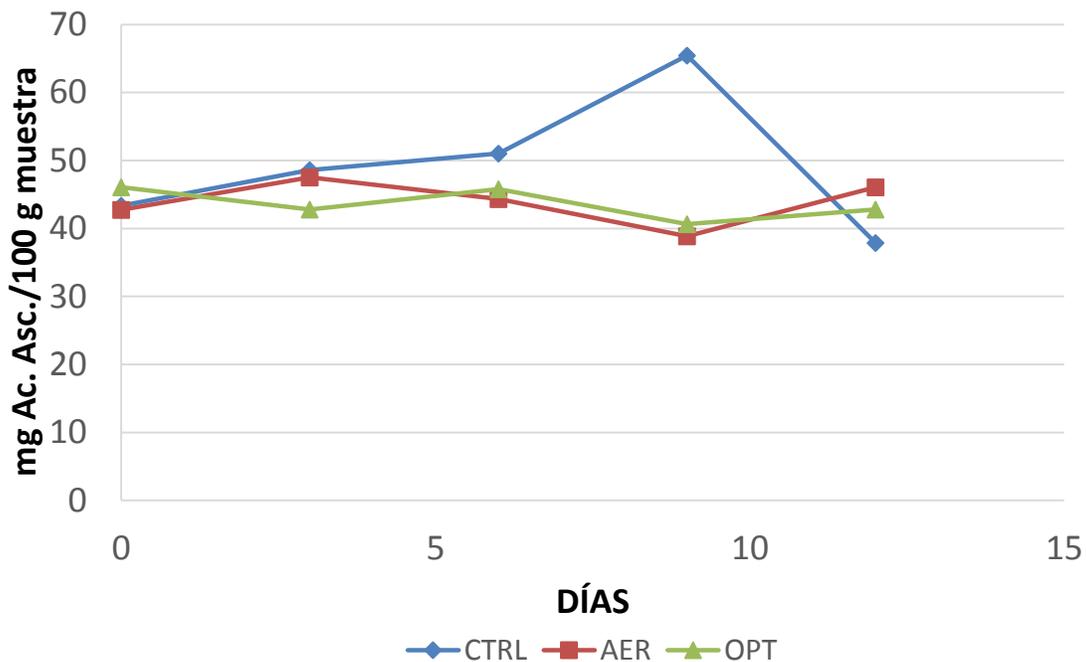
**Tabla 5.** Color de los chiles habaneros con los tratamientos de Quitosano/AER.

	DIAS					MUESTRA
	0	3	6	9	12	
<b>L*</b>	47.93	47.86	50.35	55.94	58.54	CTRL
<b>a*</b>	-11.14	-11.20	-16.66	-10.86	-1.02	
<b>b*</b>	31.70	32.21	34.27	36.58	36.61	
<b>L*</b>	48.52	49.25	52.51	57.67	59.01	AER
<b>a*</b>	-11.09	-10.96	-16.72	-6.00	2.40	
<b>b*</b>	31.79	32.53	35.79	35.41	33.33	
<b>L*</b>	48.61	49.60	51.66	54.74	59.39	OPT
<b>a*</b>	-10.97	-10.98	-14.70	-11.47	-1.29	
<b>b*</b>	31.77	31.73	32.76	31.98	31.79	

El parámetro de Luminosidad de los chiles tratados con la fórmula óptima no tuvo una diferencia al final del tiempo de estudio comparado con el grupo control ni con el lote de AER. En general, entre los tratamientos en el parámetro b\* no hubo diferencia representativa. La opacidad que se puede detectar en la disminución en el parámetro a\* en los chiles se debe a la pérdida de humedad y el envejecimiento del fruto debido a su proceso oxidativo natural, lo cual le confiere un color café con tono opaco característico del proceso de senescencia.

### 6.2.6 Ácido ascórbico

Los resultados fueron expresados en mg de ácido ascórbico en 100 g de chile habanero. Podemos observar que en los primeros 3 días, las muestras control y óptimo muestran tendencia semejante hacia un incremento que el control conserva hasta el día 9, sin embargo, este incremento cae repentinamente al final de los 12 días de evaluación.



**Figura 9.** Evolución del contenido de ácido ascórbico a lo largo del almacenamiento del chile habanero con los 3 tratamientos.

Si se compara el contenido de ácido ascórbico entre los 3 tratamientos, se observa que al final del tiempo de almacenamiento la muestra con el tratamiento óptimo tiene la menor pérdida de este antioxidante con un 7.08% comparado con un 12.63% de la muestra control.

## 7. CONCLUSIONES

Hubo un efecto positivo del recubrimiento de quitosano/tween 80/AER en la firmeza del chile habanero manteniéndola durante más tiempo al igual que en la pérdida de peso, en donde muestra un menor porcentaje comparado con el control. Sin embargo, este efecto deseable perduró sólo durante los primeros 8 días.

El recubrimiento OPT retrasó la maduración del chile reflejándose en los valores medidos de color.

No tuvo efecto significativo en el marchitamiento del pedúnculo. A pesar de ello, se logró una menor pérdida acumulada del contenido de ácido ascórbico al final del estudio con el recubrimiento comparado con el lote control.

Estos resultados sugieren que el recubrimiento optimizado de quitosano/tween 80/AER al 2%/0.11%/5.8% m/v respectivamente puede ser aplicado para la conservación de la calidad del chile habanero durante su almacenamiento.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Abdullah, H., Rohaya, M. A., Latifah, M. N., Selamat, M. y Underhill, S. (2002). Respiration rate, ethylene production and chlorophyll content of the fruit and crown of pineapple stored at low temperatures. *Journal Tropical. Agriculture and Food Science*. 30(1)(2002): 99–107.
- Adams, R.P., 2001. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, Illinois (USA). p. 456.
- Aider, M., (2010); Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. *LWT - Food Science and Technology*. Volume 43, Issue 6, July 2010, Pages 837-842.
- ASTM D882-Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting.
- ASTM E96/E96M–16. Standard test methods for water vapor transmission of materials.
- Barikani, M., Oliaei, E., Seddiqi, H. et al. *Iran Polym J.* (2014). Edible films and coatings. Volume 16, Issue 6, Pages 23: 307.
- Barreiro, P y Ruiz-Altisent, M. (2000). Instrumentación de la calidad en frutas y hortalizas frescas. *Horticultura Internacional* 29, 14-21.
- Bautista B. S., Hernández L. M., Bosquez, M., Wilson, E.C. (2003). Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop Protection* Volume 22, Issue 9, Pages 1087-1092.
- Benhabiles, M.S, Salah, R., Lounici, H., Drouiche, N., Goosen, M. F. (2012). Antibacterial activity of chitin, chitosan and its oligomers prepared from shrimp shell waste. *Food Hydrocolloids*. Volume 29, Issue 1, Pages 48-56.

- Borges-Gómez, L., Cervantes, C. L., Ruiz, N. J., Soria, F. M., Reyes, O. V., & Villanueva, E. (2008). Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra Latinoamericana*, 28, 35-41.
- Bosquez-Molina E. y E. J. Vernon-Carter. (2005). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 4 157-162
- Bósquez-Molina, E., & Vernon-Carter, E. (2005). Efecto de plastificantes y calcio en la permeabilidad al vapor de agua de películas a base de goma de mezquite y cera de candelilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4 (2), 157-162.
- Bourtoom, T. (2008). Review Article Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal* 15(3): 237-248
- Callegarin, F., Quezada G., Debeaufort, F., Amer, J. (1997). Nano-microencapsulation and controlled release of linoleic acid in biopolymer matrices. 74: 1183
- Cano, A. M. (1998). El cultivo del chile. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación para Asuntos Específicos de Petén. 49 p.
- Carvalho, 2006. Carvalho, C., & Monterde, A., & Martínez-Jávera, J., & Salvador, A. (2006). Efecto del tratamiento de desverdización en la calidad de mandarinas 'oronules' con vistas a la exportación a Japón. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7 (2), 104-108.
- Oliveira, C.E.V., Magnani, M., Sales, C.V., Pontes, A.L.S., Campos-Takaki, G.M., Stamford, T.C.M., et al. (2014). Effects of chitosan from *Cunninghamella elegans* on virulence of post-harvest pathogenic fungi in table grapes (*Vitis labrusca* L.). *International Journal of Food Microbiology*, 171, 54–61.
- Coop Gamas, F., & Corona Cruz, A., & Rodríguez Rivera, R., & Herrera Rodríguez, F. (2011). Conservación de la calidad poscosecha en chile habanero (*Capsicum chinense* J.) mediante atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12 (1), 80-86.

- Correa, C., Loyola López, Nelson, Paulina, & Nora Aguayo, Rodolfo. (2007). Evaluación de parámetros físicos, microbiológicos y sensoriales de radicchios (*Chichorium Intybus* l. var. *Foliosum*) envasados mediante (Arica), 25(3), 59-73.
- Cutter, C. (1999). The effectiveness of triclosan incorporated plastic against bacteria on beef surfaces. *Journal of Food Protection* 62, 474-479.
- Day, B. P. F. (1993). Fruits and vegetables. In principles and applications of modified atmosphere packacking of foods. *Springer*.114-133.
- Dhall, R., (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Food Science Nutrition*. 53, 435–450.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2010). Declaratoria general de protección de la denominación de origen chile habanero de la Península de Yucatán. pp: 73-79.
- Falguera, V., Quintero, P., Jiménez, A., Aldemar, M. J., Barz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science and Technology*. Volume 22, Issue 6, Pages 292-303.
- Falguera, V.; Quintero, P.; Jiménez, A.; Muñoz, J.A.; Ibarz, A.: "Edible films and coatings: Structures, active function and trends in their use", *Trends in Food Science & Technology*. 22(10): 7, 2011.
- Fornes P. B., Palomar Ll. F., Díez F. P., Muñoz M. V. y Fernández, L., (2008). Apósitos en el tratamiento de úlceras y heridas. *Enfermería Dermatológica*, No. 4.
- García, G. J., Gutiérrez, F., Castellano, M. J., Salud Perdiguero, Ana Morilla, and, and Miguel A. Albi. (1996). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44 (1), 264-267.
- Garcia, M. (2008). Películas y cubiertas de quitosana en la conservación de vegetales. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 18, No. 1.
- Giovannoni, J. (2001). Molecular biology of fruit maturation and ripening. *AnnualReview of PlantPhysiology and Plant Molecular Biology*. 52: 725-749.

- Giovannoni, J. (2004). Genetic regulation of fruit development and ripening. *The Plant Cell*. 16: 170-180
- Giovannoni, J. (2004). Genetic regulation of fruit development and ripening. *The Plant Cell*. 16: 170-180
- Gontard, N., Guilbert, S., Cuq, J.L. (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of Food Science*. 58(1):206-211.
- Gontard, N., Guilbert, S., y Cuq, J. L. (1992). Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science*. 57(1), 190 – 195.
- Guerreiro, A.C., Gago, C.M.L., Faleiro, M.L., Miguel, M.G.C., Antunes, M.D.C. (2015). The effect of alginate-based edible coatings enriched with essential oils constituents on *Arbutus unedo* L. fresh fruit storage. *Postharvest Biology Technology*. 100, 226–233.
- Gutiérrez, F., Arnaud, T. & Albi, M.A. *J Amer. Oil Chemistry Society*. (1999) 76: 617.
- Jo, W. S., Song, H. Y., Song, N. B., Lee, J. H., Min, S.C., Song, K.B. (2014). Quality and microbial safety of fuji apples coated with carnauba-shellac wax containing lemongrass oil. *LWT Food Science Technology*. 55, 490–497.
- Jo, W. S., Song, H. Y., Song, N. B., Lee, J. H., Min, S.C., Song, K.B. (2014). Quality and microbial safety of fuji apples coated with carnauba-shellac wax containing lemongrass oil. *LWT Food Science Technology*. 55, 490–497.
- Jull A. B., Rodgers, A. Walker, N. (2008). Honey as a topical treatment for wounds. *Cochrane Database of Systematic Reviews Issue 4*.
- Kader, A. (2002). Various Methods for Determination of the Degree of N-Acetylation of Chitin and Chitosan. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3ra edición. Universidad de California. Agriculture and natural resources.

- Kader, A. A. (2005). Biochemical and physiological bases for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*. 40(5):99-100 and 102-104.
- Kardas, I., Struszczyk, M.H., Kucharska M., Van den Broek L.A.M., Van Dam, J.E.G., Ciechańska, D. (2012). Chitin and Chitosan as Functional Biopolymers for Industrial Applications. *The European Polysaccharide Network of Excellence (EPNOE)*. Springer, Vienna.
- Kasaai, M. R. (2009). Various Methods for Determination of the Degree of N-Acetylation of Chitin and Chitosan: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57 (5), 1667-1676.
- Kouassi, G.K., Teriveedhi, V.K., Milby, C.L., Ahmad, T., Boley, M.S., Gowda, N.M. and Terry, R.J. (2012). Nano-microencapsulation and controlled release of linoleic acid in biopolymer matrices: effects of the physical state, water activity, and quercetin on oxidative stability. *Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*. 2, 1-10.
- Laborde, C. J. A. y Pozo, C. O. (1982). Presente y pasado del chile en México. *Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. SARH*. México. 80 p.
- Lárez V. C. (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances en Química*. Vol. 1, núm. 2, 2006, pp. 15-21.
- Latifah, M. N., J. Trop. Agric. and Fd. Sc. 30(1)(2002): 99–107 H. Abdullah, M.A. Rohaya, M. Mohd. Selamat and S. Underhill Respiration rate, ethylene production and chlorophyll content of the fruit and crown of pineapple stored at low temperatures. H. Abdullah\*, M.A. Rohaya\*, M.N. Latifah\*, M. Mohd. Selamat\*\* and S. Underhill.
- Long, S. J. (1998). Capsicum y cultura: La historia del chile. *Fondo de cultura económica México*. 201 p.
- López M. El romero: planta aromática con efectos antioxidantes. Vol. 27 No. 7 Agosto 2008. OFFARM

López, P.G., A.F. Canto y N.B. Santana. 2009. El reto biotecnológico del chile habanero. *Ciencia* 60: 30-35.

Serrano, M., Martínez, M., Martínez, F., Riquelme, M.T. Pretel, and F. Romojaro. Review : Role of polyamines in chilling injury of fruit and vegetables/Revisión: El papel de las poliaminas en los daños por frío de frutas y hortalizas *Food Science and Technology International* Vol 2, Issue 4, pp. 195 - 199 First Published August 1, 1996.

Pereda, M., Alain D., Mirta, Aranguren, N., Norma E. Marcovich. Polyelectrolyte films based on chitosan/olive oil and reinforced with cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*. Volume 101, 30 January 2014, Pages 1018-1026.

Martínez, C. A. P., Cortez, R. Ezquerro, E., M.O.J., M Graciano, V., Rodríguez-Félix, A. Z. F., Castill, O. M. M., Yépiz, G., Plascencia, J. M.S.M. (2010). Chitosan composite films: Thermal, structural, mechanical and antifungal properties. *Carbohydrate Polymers*. Volume 82, Issue 2, 5 September 2010, Pages 305-315.

Mendel, F. y Juneja, V. (2010). Review of Antimicrobial and Antioxidative Activities of Chitosans in Food. *Journal of Food Protection*. Vol. 73, No. 9, pp. 1737-1761.

Miller y Krochta, 1997). K.S.Miller<sup>a1</sup>J.M.Krochta. Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. *Trends in Food Science & Technology*. Volume 8, Issue 7, July 1997, Pages 228-237

Miller, K. S. Krotcha, J. M. (1997). Oxygen and aroma barrier properties of edible films: a review. *Trends in food Science and Tchnology*. 8 (7), 228-237.

Muñoz, F. I. y Pinto, C. C. 1966. Taxonomía y distribución geográfica de los chiles cultivados en México. *Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas*. SAG. México. 23 p.

Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H., & Hosseini, S.M.H. (2010). Effect of chitosan. *Crop Protection* Volume 22, Issue 9, November 2003, Pages 1087-1092.

- Oliveira, C.E.V., Magnani, M., Sales, C.V., Pontes, A.L.S., Campos-Takaki, G.M. (2003). Effect of chitosan. *Crop Protection* Volume 85, Issue 4, November, Pages 1087-1092.
- Perez-Gago, M.B., Krochta, J.M. (2001). Denaturation time and temperature effects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. *Journal of Food Science*, 66(5):705-709.
- Pozo, C. O. 1981. Descripción de tipos y cultivares de chile (*Capsicum* spp.) en México. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. SARH. México. 40 p.
- Rabea, Badawy, Stevens, Smagghe, & Steurbaut, (2003). Chitosan as Antimicrobial Agent: Applications and Mode of Action Entsar I. Rabea, Mohamed E.-T. Badawy, Christian V. Stevens, Guy Smagghe, Walter Steurbaut, *Biomacromolecules*. 4 (6), 1457-1465.
- Ramos, G., Margarita L., Bautista B., Silvia, B., Bosquez, M., Elsa, A., Irán, Estrada-Carrillo, Marisa. (2010). Antimicrobial Compounds Added in Edible Coatings for Use in Horticultural Products. *Revista mexicana de fitopatología*, 28(1), 44-57.
- Ramos-Ramírez, F. X., Alia-Tejacal, I., López-Martínez, V., Colinas-León, M. T., Acosta-Durán, C. M., Tapia-Delgado, A., & Villegas-Torres, O.. (2009). Almacenamiento de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] en atmósfera modificada. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(1), 17-23.
- Romero, F. y F. Riquelme. 1994. Criterios de calidad del fruto. Cambios durante la maduración. Identificación de criterios no destructivos. pp. 55-78. In: Vendrel, M. y Audergon, J.M. (Eds.), Seminario Calidad Post-cosecha y Productos Derivados en Frutos de Hueso. Lleida, España. Octubre 17-18, 1994. 216p.
- Romero, F.; Riquelme, F.; Pretel, M. T.; Martínez, G.; Serrano, M.; Martínez, C.; Lozano, P.; Segura, P.; Luna, P. A. (1996). Nuevas Tecnologías de Conservación de Frutas y Hortalizas. *Editorial Mundi-Prensa*. Madrid, España. 221 p.

- Ruiz, 2004). Ruiz-Lau, N., L. F. Medina y E. M. Martínez 2011. “El chile habanero: su origen y sus usos.”. Ciencia: 77 p.
- Ruiz-Altisent, M., Valero-Ubierna, C. (2000). La calidad de la fruta. Vida Rural 107 (8): 66-68. SAGARPA. (2012). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca, y Alimentación. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial, México calidad suprema en pimiento morrón.
- Bautista-Baños, M. Hernández-López, E. Bosquez-Molina, C. L. Wilson. Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. Crop Protection Volume 22, Issue 9, November 2003, Pages 1087-1092.
- Saavedra y Algecira, 2010). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. Vol. 8 num 14. Nataly Saavedra, Néstor A. Algecira
- SAGARPA, (Secretaria de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación). 2012. Importancia de la agricultura protegida. SAGARPA.GOB.MX
- Salmieri, S., Lacroix, M., 2006. Physicochemical properties of alginate/ polycaprolactone-based films containing essential oils. J. Agric. Food Chem. 54, 10205–10214.
- Sasikala, L., Bhaarathi, D., Rathinamoorthy, R. (2013). Manuka Honey Loaded Chitosan Hydrogel Films for Wound Dressing Applications. International Journal of Pharma Technology Research. Vol.5, No.4, pp 1774-1785.
- SIAP. 2016. Chile habanero de la Península de Yucatán. SAGARPA.
- Soria, F. M.; Trejo, J. A.; Tun, S. J. M. y Terán, S. R. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán. 128 p.
- Stamford, T.C.M., et al. (2014). Effects of chitosan from *Cunninghamella elegans* on films for Wound Dressing Applications. Vol.2, No.7, pp 774-785.

- Sun, J; Tan, H. 2013. Alginate-Based Biomaterials for Regenerative Medicine Applications. Vol. 6, 1285-1309.
- Trujillo A. J. 2001. Descripción varietal del Chile habanero (*Capsicum chinense* J). Seminario del chile habanero. Memorias Fundación produce Yucatán. SAGARPA INIFAP. Mérida Yucatán. 10-16p.
- Trujillo Aguirre J J G y Perez Llanes C. 2004. Chile habanero *Capsicum chinense* diversidad varietal. Centro de investigación regional del sureste campo experimental Uxmal, pp 5.
- Tun, D. J. C. 2001. Chile habanero. Características y tecnología de producción. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Mocochoá, Yucatán, México. 74 p.
- Valero Ubierna, Constantino y Ruiz-Altisent, Margarita (1998). Control de calidad en la comercialización de frutas. Proyecto para grandes superficies y centros de distribución. "Vida Rural" (n. 66); pp. 50-55. ISSN 1133-8938.
- Vásquez, 2011. Vásquez Lara, José Luis y Vidal López, Mirna Beatriz (2011) Caracterización y alternativa de uso de una película biodegradable de quitosano a partir de la extracción de quitina de langostino (*pleuroncodes planipes*) para la industria de alimentos. Doctorado en Ingenierías thesis, Universidad de El Salvador.
- Velasco, M. C. 2003. Descripción de las variedades locales de chiles (*Capsicum annum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) de Yucatán. Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura Tropical. Instituto Tecnológico No. 2. Conkal, Yucatán, México. 94 p.
- Vidal M. 2011), E. Betoret, N. Betoret D. Vidal, P. Fito. Functional foods development: Trends and technologies. *Trends in Food Science & Technology*. Volume 22, Issue 9, Pages 498-508.

- Villaman, D. M. C. (2007). Elaboración y caracterización de films comestibles basadas en mezclas entre proteínas de quinoa y quitosano. Universidad de Chile. Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas.
- Vu, K.D., Hollingsworth, R.G., Leroux, E., Salmieri, S., Lacroix, M., 2011. Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. *Food Res. Int.* 44, 198–203.
- Wills, R.B.H., Warton, M.A. y Ku, V.V.V. (2000). Ethylene levels associated with fruit and vegetables uring marketing. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40, 465-470.
- Wong, D., Gastineau, F., Gregorski, K.S., Tillin, S.J., Pavlath, A.E., 1992. Chitosan–lipid films microstructure and surface energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40, 540–544.
- Yahia, E. M., & Ariza-Flores, R. (2001). Tratamientos físicos en poscosecha de fruta y hortaliza. *Rev. Horticultura*, extra, 80.
- Yeul & Rayalu, 2013). Yeul, V.S. & Rayalu, S.S. *J Polym Environ* (2013) 21: 606. Correa, C., Loyola López, Nelson, Paulina, & Nora Aguayo, Rodolfo. (2007). Evaluación de parámetros físicos, microbiológicos y sensoriales de radicchios (*Chichorium Intybus l. var. Foliosum*) envasados mediante (*Arica*), 25(3), 59-73.