

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“GENERALIDADES Y APLICACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS  
COMESTIBLES EN LA CADENA HORTOFRUTÍCOLA”**

Por:

**MIGUEL ANGEL MORALES REYES**

**MONOGRAFIA**

Presentada como Requisito Parcial para obtener Título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Abril de 2011

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

## DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

### DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

#### GENERALIDADES Y APLICACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LA CADENA HORTOFRUTÍCOLA

Presentado por:

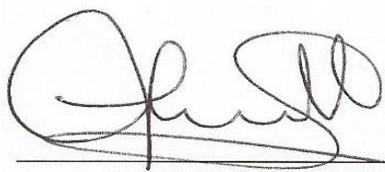
MIGUEL ANGEL MORALES REYES

#### MONOGRAFIA

Que somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial para  
obtener título de:

#### INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

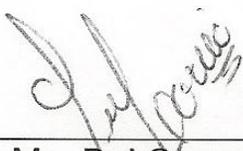
El presente trabajo ha sido evaluado y aprobado por el siguiente comité:



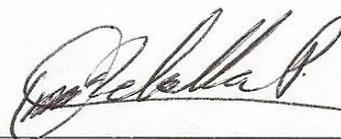
M.C. Xochitl Ruelas Chacón  
**Presidente**



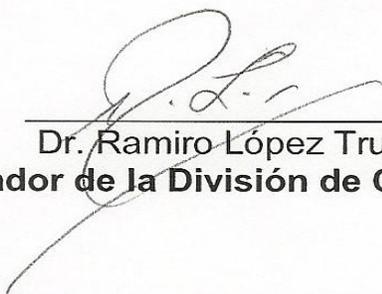
Lic. Laura Olivia Fuentes Lara  
**Sinodal**



Q.F.B. Ma. Del Carmen Julia García  
**Sinodal**



Q.F.B. Oscar Noe Reboloso Padilla  
**Sinodal**



Dr. Ramiro López Trujillo  
**Coordinador de la División de Ciencia Animal**

Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Abril de 2011

Universidad Agraria  
"ANTONIO NARRO"



COORDINACION DE  
CIENCIA ANIMAL

## **AGRADECIMIENTOS**

*Son muchos los momentos vividos a lo largo de este gran camino lleno de momentos buenos, malos y regulares y son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer que directa o indirectamente me brindaron su amistad, su apoyo y compañía en las diferentes etapas de mi vida universitaria.*

*Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón. Sin importar en dónde estén o si alguna vez llegan a leer estas dedicatorias quiero darles las gracias por formar parte de mí y por todo lo que me han brindado.*

*Primeramente agradezco a **Díos** por estar a mi lado día a día, por cuidarme y protegerme en todo momento, por ayudarme a cumplir todas mis metas y objetivos, por a verme dado la gran familia que tengo, por hacerme una persona de bien, feliz y exitosa.*

*Expreso mi agradecimiento a la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, reconocida como la mejor universidad agraria del país, por a verme dado la oportunidad de cursar mis estudios en sus instalaciones, facilitarme mi estancia durante todo este tiempo y brindarme conocimientos y experiencias inolvidables, con la gran meta y objetivo de formarme profesionalmente para afrontar los retos que nos presenta la vida día a día y poder poner en lo más alto el nombre de esta gran institución.*

*A la M.C. Xochitl Ruelas Chacón por haber confiado en mí persona, por la paciencia, disposición y dirección de esta monografía, por todos los apoyos y conocimientos que me brindó incondicionalmente a lo largo de mi formación académica.*

*A la Lic. Laura Olivia Fuentes Lara por la atención tan amable y generosa que me brindó, por sus consejos y asesorías realizadas para la terminación satisfactoria de este trabajo.*

*A la Q.F.B. Ma. Del Carmen Julia García por su gran apoyo y asesoría para la realización de este trabajo, por los conocimientos proporcionados a lo largo de mi estancia en la universidad.*

*Al Q.F.B. Oscar Noe Reboloso Padilla por los conocimientos impartidos a lo largo de mi carrera, por su apoyo y asesoría en la realización este trabajo, por su valiosa participación en la formación y preparación de todos mis compañeros de la carrera de icta.*

*A mis maestros del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos (Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez, M.C. María Hernández González, M. C. María de Lourdes Morales Caballero) gracias por haber compartido todos sus conocimientos, enseñanzas y consejos que me brindaron a lo largo de mi formación académica.*

*Al Ing. Carlos Ramos Velis por su gran amistad, apoyo incondicional y conocimientos brindados a lo largo de mi estancia universitaria, gracias por todo padrino.*

*A don Marcus por su gran amistad y apoyo incondicional durante toda mi estancia universitaria. Gracias por ser mi gran amigo.*

*A mis amigos y compañeros de la generación 2006-2010 de la carrera de ICTA, gracias por convivir conmigo dentro y fuera del salón de clase, sinceramente deseo de todo corazón que les vaya bien ahora y siempre y que triunfen en la vida.*

*A mis mejores amigos de la universidad*

*(Elvía, Ivon, Claudia, Alfredo, Benjamín, Diego, Ignacio, Yam, Leonardo "chino", Daniel "joven", Sergio "checo", modesto "risas", Sixto, Gavino y a toda la selección de fútbol rápido).*

*Gracias por aparecer en mi vida y llenarla de alegría y felicidad, por la amistad que me brindaron incondicionalmente sin pedir nada a cambio, por dejarme compartir con ustedes los mejores momentos de mi vida como los bailes, congresos, eventos, paseos y fiestas. Se les quiere y se les estima mucho, les deseo lo mejor de la vida y estoy seguro que triunfaran, alcanzaran sus metas y objetivos y serán unas personas exitosas, échense ganas y suerte en todo.*

*A mi novia Ana Lilia Velázquez por estar conmigo durante más de 2 años brindándome su apoyo, su tiempo, su atención, sus consejos, su paciencia, su comprensión y su amor, por ser la persona más importante durante mi estancia en esta universidad, gracias por todos los momentos tan hermosos que vivimos juntos, eres lo máximo y lo mejor que me ha podido pasar, gracias por hacerme feliz y por todo tu amor que día a día me brindaste, te amo.*

## **DEDICATORIAS**

*A mis padres **Álvaro Morales Castro y Andrea Reyes Aguilar** por a verme dado la vida y un hogar lleno de amor y felicidad, por proporcionarme incondicionalmente todo su amor, por estar conmigo en todos los momentos de mi vida y sobre todo por ser los mejores padres de todo el mundo. **Papá** gracias por apoyarme a lo largo de mi carrera, por el gran esfuerzo que hiciste para que yo siempre tuviera todo lo necesario y que nunca me faltara nada para que yo terminara mis estudios satisfactoriamente. **Mamá** eres el ser más maravilloso de todo el mundo, estuviste siempre conmigo, en momentos de tristezas y alegrías, en mis triunfos y fracasos, gracias por alentarme, corregirme y guiarme. **Papá y Mamá** A los dos gracias por la confianza que depositaron en mí jamás terminare de agradecer el gran sacrificio que hicieron por mí, Gracias por todo, por a verme heredado una carrera para mi futuro y hacer de mí una persona de bien y exitosa, Los amo.*

*A mi hermano **Iván Morales Reyes** por acompañarme y estar conmigo durante todo este tiempo en las buenas y en las malas, por ser mi confidente y amigo, porque gracias a su apoyo incondicional pude concluir mi carrera profesional.*

*A mi hermano **fredy Morales Reyes** por compartir mucho de su tiempo conmigo, por apoyarme incondicionalmente en las buenas y en las malas, por ser mi compañero de fiestas y desma.*

*A mi hermana **Brenda Xochítl Morales Reyes**. La consentida de la casa, por tu compañía, cariño y apoyo durante todo este tiempo. **A toda la familia Morales, mis abuelitos, tíos y primos gracias por todo.***

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Agradecimientos.....	III
Dedicatorias.....	VI
Índice general.....	VII
Índice de cuadros.....	X
Índice de figuras.....	XI
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>2</b>
<b>3. ANTECEDENTES.....</b>	<b>3</b>
3.1 Definición de película.....	5
3.2 Definición de recubrimiento.....	5
3.3 Diferencia entre recubrimiento y película.....	5
3.4 Películas y recubrimientos comestibles: Definición y aplicación.....	5
3.4.1 Importancia y funciones de (PC) y (RC).....	6
3.4.2 Requerimientos y ventajas del uso de películas comestibles.....	6
3.4.3 Ventajas y desventajas del uso de recubrimientos comestibles.....	7
3.4.4 Materiales empleados para la elaboración de PC Y RC.....	8
3.4.4.1 <i>Lípidos</i> .....	8
3.4.4.1.1 Ceras.....	9
3.4.4.1.1.1 Usos de ceras.....	9
3.4.4.1.1.2 Tipos de ceras.....	9
3.4.4.1.1.3 Ventajas del uso de ceras.....	10
3.4.4.1.1.4 Encerado en frutas y hortalizas.....	10
3.4.4.1.2 Características de algunos lípidos formadores de PC y RC.....	11
3.4.4.1.2.1 Cera de abeja.....	11
3.4.4.1.2.2 Cera de Carnauba.....	12
3.4.4.1.2.3 Cera de Candelilla.....	14
3.4.4.2 <i>Polisacáridos</i> .....	15
	VII

3.4.4.2.1 Características de algunos polisacáridos	
Formadores de PC Y RC.....	15
3.4.4.2.1.1 Celulosa y sus derivados.....	15
3.4.4.2.1.2 Quitosano.....	16
3.4.4.2.1.3 Pectinas.....	16
3.4.4.2.1.4 Gelano.....	16
3.4.4.2.1.5 Almidón.....	16
3.4.4.2.1.6 Mucílagos.....	17
3.4.4.2.1.7 Puré de frutas.....	17
3.4.4.3 <i>Proteínas</i> .....	18
3.4.4.3.1 Características de algunas proteínas formadoras de PC y RC.....	18
3.4.4.3.1.1 Caseína.....	18
3.4.4.3.1.2 Proteínas del suero.....	19
3.4.4.3.1.3 Zeína.....	19
3.4.4.4 <i>Mezclas o sistemas multicomponentes</i> .....	19
3.4.4.5 <i>Otros componentes (aditivos)</i> .....	20
3.4.4.5.1 Características de aditivos formadores de PC y RC.....	20
3.4.4.5.1.1 Plastificantes.....	20
3.4.4.5.1.1.1 Glicerol.....	21
3.4.4.5.1.2 Emulsificantes y surfactantes.....	21
3.4.4.5.1.3 Antimicrobianos (conservadores)	22
3.4.4.5.1.3.1 Factores considerados en el uso de antimicrobianos...	22
3.4.4.5.1.3.2 Compuestos naturales con actividad antimicrobiana.....	23
3.4.4.5.1.3.2.1 El quitosano.....	23
3.4.4.5.1.3.2.2 Aceites Esenciales.....	24
3.4.4.5.1.3.2.3 El propóleo.....	24

3.4.5	<i>Principales Propiedades de PC Y RC</i> .....	24
3.4.5.1	<i>Propiedades de barrera</i> .....	25
3.4.5.2	<i>Propiedades mecánicas</i> .....	26
3.4.5.3	Propiedades físicas.....	27
3.4.5.4	Propiedades ópticas.....	27
3.4.5.5	Propiedades de solubilidad.....	27
3.4.5.6	Propiedades de espesor.....	27
3.4.5.7	<i>Transporte de aditivos</i> .....	28
3.4.5.8	Permeabilidad.....	28
3.4.6	<i>Mecanismos de formación de PC y RC</i> .....	29
3.4.7	<i>Métodos de aplicación de PC Y RC</i> .....	30
3.4.7.1	Aplicación por inmersión.....	30
3.4.7.2	Aplicación por aspersión.....	31
3.4.7.3	Aplicación por frotación.....	31
3.4.7.4	Condiciones relevantes en la aplicación de PC y RC.....	31
3.4.8	<i>Preservación de frutas y hortalizas</i> .....	32
3.4.8.1	Cambios fisicoquímicos en frutas y hortalizas.....	32
3.4.8.1.1	Color.....	33
3.4.8.1.2	Firmeza.....	33
3.4.8.1.3	Pérdida de peso.....	34
3.4.8.1.4	Tasa respiratoria.....	35
3.4.9	<i>Cadena hortofrutícola</i> .....	36
3.4.10	<i>Aplicación de PC y RC en la cadena hortofrutícola</i> .....	38
3.4.11	Recubrimientos comestibles y su efecto sobre la extensión de la vida útil de productos altamente perecederos.....	43
<b>4.</b>	<b>EL FUTURO DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES</b> .....	<b>48</b>
4.1	Recubrimientos bioactivos.....	48
4.2	Aplicación de micro y nanotecnologías.....	49
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FUTURAS</b> .....	<b>50</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>51</b>

## Índice de cuadros

	<b>Pág.</b>
1. <b>Cuadro 1.</b> Composición química aproximada de la cera de abeja.....	12
2. <b>Cuadro 2.</b> Composición Química de la cera de carnauba.....	13
3. <b>Cuadro 3.</b> Composición Típica de la Cera de Candelilla.....	14
4. <b>Cuadro 4.</b> Ecuación general de la respiración.....	36
5. <b>Cuadro 5</b> Recubrimientos comestibles aplicados a frutas.....	41
6. <b>Cuadro 6</b> Algunos de los recubrimientos comerciales que se aplican en frutas y hortalizas frescas y enteras.....	42
7. <b>Cuadro 7</b> Aplicación de recubrimientos comestibles en productos hortofrutícolas frescos y mínimamente procesados.....	46

## Índice de figuras

**Pág.**

<b>1. Figura 1.</b> Estructura simplificada del proceso productivo en la Agroindustria hortofrutícola.....	<b>37</b>
--	-----------

## RESUMEN

En la presente monografía se encontrará una síntesis de diversas investigaciones recientes en el estudio y desarrollo de películas y recubrimientos comestibles, haciendo énfasis en su obtención y aplicación en la cadena hortofrutícola.

En los últimos años, se han desarrollado técnicas de preservación de frutas y hortalizas que permiten prolongar su vida de anaquel, manteniendo sus características físicas, químicas y nutricionales lo más parecidas al estado fresco, ya que actualmente, los consumidores están más interesados en ese tipo de productos que en los altamente procesados o adicionados con conservadores.

Las películas y recubrimientos comestibles se definen como matrices continuas que pueden ser formadas por proteínas, polisacáridos y lípidos, proveen la posibilidad de mejorar la calidad de los alimentos mediante la limitación de migración de humedad, grasas, oxígeno y compuestos responsables del sabor, color y aroma. Tienen la viabilidad para incorporar agentes antimicrobianos para proveer estabilidad microbiológica a los alimentos, ya que sirven como acarreadores de un amplio número de aditivos que pueden extender la vida en anaquel de un producto y reducir el riesgo de crecimiento de patógenos en la superficie de los alimentos.

**Palabras clave:** Películas comestibles, recubrimientos comestibles, cadena hortofrutícola, conservación.

## 1. INTRODUCCIÓN

El creciente interés por el desarrollo de películas y recubrimientos comestibles para incrementar la conservación de alimentos se debe fundamentalmente a las exigencias, cada vez mayores, de reducir el impacto en la contaminación ambiental que se ha producido con el incremento de desechos generados por el uso de envases y plásticos de origen sintético o no biodegradable para el empaqueo y distribución de alimentos (Bósquez, 2003).

La alternativa más viable para solucionar esta problemática, la constituye el desarrollo de materiales biodegradables con propiedades funcionales como empaque y que ofrezcan costos competitivos a los materiales de empaque plásticos actuales (Bósquez, 2003).

De acuerdo con Krochta y De Mulder-Johnston (1997), una película comestible se define como aquella capa delgada de material comestible formada sobre un alimento como un recubrimiento, o colocada (lo que implica que debe ser preformada) sobre o entre los componentes de los alimentos. Su propósito es el de inhibir o reducir la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aromas, lípidos, pigmentos, entre otros.; servir como vehículo para aditivos alimentarios (antioxidantes, antimicrobianos, saborizantes, colorantes); y/o mejorar la integridad mecánica o características de manejo del alimento en cuestión. En algunos casos las películas comestibles con buenas propiedades mecánicas pueden llegar a sustituir las películas de empaque sintéticas.

Actualmente las películas y cubiertas comestibles encuentran una amplia variedad de aplicaciones: cubiertas de chocolate para nueces y frutas, cubiertas de cera para frutas y hortalizas, fundas para salchichas, entre otros. Los retos técnicos involucrados en producir alimentos y conservarlos con calidad estable, indican que el uso de este tipo de recubrimientos y películas será mayor de lo que actualmente es (Bósquez, 2003).

El desarrollo de películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos hortofrutícolas tanto frescos como mínimamente procesados ha generado recientes avances sobre la vida de anaquel de dichos alimentos (Quintero, C.; Falguera, P.; Muñoz, H. 2010). Sin embargo a pesar de que la información técnica disponible para la elaboración de películas comestibles es amplia, no es universal para todos los productos, lo que implica un reto para el desarrollo de recubrimientos y películas específicas para cada alimento (Bósquez, 2008).

En el caso particular de frutas y hortalizas para consumo en fresco, los recubrimientos comestibles proporcionan una cubierta protectora adicional cuyo impacto tecnológico es equivalente al de una atmósfera modificada, por lo tanto representan una alternativa a este tipo de almacenamiento ya que es posible reducir la cinética de los cambios de calidad y pérdidas en cantidad a través de la modificación y control de la atmósfera interna en estos productos vegetales (Park, 1999; Bósquez, 2003).

Sin embargo, aunque estas cubiertas pueden incrementar el periodo de vida útil y mejorar el aspecto del producto, el cual resulta con más brillo y por ello más atractivo para algunos consumidores, también tienen sus limitantes pues entre las principales desventajas que se han reportado de las formulaciones actuales, se encuentra el hecho de que pueden generar el desarrollo de sabores y olores desagradables como resultado de la inducción de anaerobiosis, o que la cubierta se vuelve quebradiza proporcionando un aspecto desagradable a la superficie del producto (Nussinovitch y Lurie, 1995; Bósquez, 2003).

## **2. OBJETIVO GENERAL**

La presente monografía tiene como objetivo presentar una síntesis y analizar las investigaciones realizadas recientemente sobre el estudio y desarrollo de películas y recubrimientos comestibles, haciendo énfasis en su obtención y aplicación en la cadena hortofrutícola.

### 3. ANTECEDENTES

El uso de recubrimientos para frutas y hortalizas es una práctica antigua que se desarrolló para imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales comestibles. Existen reportes que datan de los siglos XII y XIII en los que se menciona que en China se realizaba la inmersión en cera de naranjas y limas para retardar la pérdida de agua (Greener y Fennema, 1994; Bósquez, 2003).

Durante el Siglo XVI se practicaba en Inglaterra el “enmantecado”, esto es, el recubrimiento con grasa de productos alimentarios para prevenir también la pérdida de humedad de éstos. En el Siglo XIX se emplearon películas a base de gelatina para la preservación de carnes y otros alimentos, alrededor de los 30's ya se encontraban comercialmente disponibles ceras parafínicas que se derretían con calor para el recubrimiento de cítricos (Nussinovich y Lurie, 1995), y en los comienzos de los años 50's se desarrollaron emulsiones aceite-agua con cera de carnauba para el recubrimiento de frutas frescas y hortalizas (Kaplan, 1986; Kester y Fennema, 1986; Bósquez, 2003).

De mediados de los 50's a mediados de los 80's se realizó bastante trabajo orientado al uso de películas y recubrimientos para extender la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados, el cual se ha reportado tanto en la literatura científica como de patente, las ceras fueron las primeras cubiertas comestibles empleadas en frutas y en los años 1930s se disponía comercialmente de ceras de parafina derretidas en caliente para su aplicación como recubrimiento de manzanas y peras (Bósquez, 2003).

En años recientes, se ha reportado que es posible conseguir efectos similares de barrera al vapor de agua y gases en productos tropicales utilizando diferentes mezclas de aceites, ceras y celulosa (Nisperos-Carriedo y col., 1990, Baldwin y col., 1995; Bósquez, 2003).

En los últimos años se ha incrementado el interés por conseguir que las frutas y hortalizas conserven durante un tiempo más largo sus características sensoriales, nutricionales y microbiológicas, que es lo que determina su calidad y vida útil, estas características se suelen ver afectadas durante el proceso de postcosecha, almacenamiento y comercialización y aunque hay procesos físicos y químicos que permiten estabilizar y preservar la calidad de los alimentos, normalmente se hace necesario el uso de un envase adecuado para su distribución y almacenamiento que proporcione una adecuada permeabilidad al vapor de agua y a los gases, así como una cierta protección mecánica (Pastor, 2010).

La permeabilidad de estos envases junto a la concentración gaseosa en su interior marcará la pauta respiratoria en los productos de origen vegetal. El empleo de atmósferas modificadas (AM) o controladas (AC) en el interior del envase suponen la reducción de la concentración de oxígeno (O<sub>2</sub>) y/o elevación del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con la consecuente disminución en la tasa respiratoria y su aplicación reduce la emisión de etileno, retrasa la maduración y el ablandamiento, mitiga los desordenes fisiológicos y los daños por frío, frena el ataque fúngico y mantiene mejor la calidad organoléptica, nutritiva y sensorial de los alimentos. Sin embargo, aunque el envasado en atmósferas modificadas ha demostrado ser útil para mantener las cualidades sensoriales de los alimentos, su efecto sobre el crecimiento microbiano es limitado (Pastor, 2010).

Una alternativa para alargar la vida útil de las frutas y hortalizas durante su distribución y almacenamiento y que además permita la incorporación de antimicrobianos naturales es el empleo de películas y recubrimientos comestibles, estos recubrimientos permitirán alargar la vida útil de las frutas al actuar como barrera frente al transporte de gases (vapor de agua y O<sub>2</sub>), además, como los recubrimientos se producen a partir de compuestos naturales biodegradables, cumplen con las exigencias solicitadas por los consumidores, cada vez más preocupados por su salud y el medio ambiente, inclinándose más hacia la compra de productos libres de químicos de síntesis (Pastor, 2010).

### **3.1 Definición de película**

Las películas son estructuras del polímero que se forman independientemente y que permanecen separadas de cualquier intención de uso. Estas películas también se utilizan como estructura de prueba para la determinación de propiedades de barrera, mecánicas, solubilidad y otras proporcionadas por un cierto material de película (Krochta y De Mulder-Johnson, 1997; Trejo, 2010).

### **3.2 Definición de recubrimiento**

Las cubiertas o recubrimientos involucran la formación de una estructura del polímero, directamente en la superficie del objeto que se pretende proteger o mejorar de alguna manera. De esta manera, los recubrimientos llegan a ser parte del producto y permanecen en el mismo durante su uso y consumo (Krochta y De Mulder-Johnson, 1997; Trejo, 2010).

### **3.3 Diferencia entre recubrimiento y película.**

La diferencia entre las películas y recubrimientos consiste en que, en general, las películas son preformadas y los recubrimientos se forman directamente sobre los productos en los que se aplican (bosques 2000.; Trejo, 2010).

### **3.4 Películas y recubrimientos comestibles (PC) Y (RC): Definición y aplicación**

De acuerdo con Krochta y De Mulder-Johnston (1997). Una película comestible se define como aquella capa delgada de material comestible formada sobre un alimento como un recubrimiento, o colocada (lo que implica que debe ser preformada) sobre o entre los componentes de los alimentos. Ambos sistemas ofrecen una barrera selectiva a la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aromas, lípidos, etc.; además pueden servir como agentes acarreadores de otros ingredientes o aditivos (antioxidantes, saborizantes, antimicrobianos y colorantes) para mejorar el potencial de conservación y las características de manejo del alimento. En algunos casos las películas comestibles con buenas propiedades mecánicas pueden llegar a sustituir las películas de empaque sintéticas.

Las cubiertas comestibles pueden ser aplicadas directamente a la superficie del alimento como una barrera adicional de protección para mantener la calidad y estabilidad de un alimento. Para el caso de frutas y vegetales, los recubrimientos con polímeros comestibles y biodegradables ofrecen una alternativa de empaque sin causar daño al medio ambiente (Ruiz, 2004).

#### **3.4.1 Importancia y funciones de (PC) y (RC)**

Las películas y 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 (Bosques, 2003).

El empaque desempeña un papel fundamental sobre la conservación, distribución y marketing. Algunas de sus funciones son contener el alimento, y protegerlo de la acción física, mecánica, química y microbiológica (Quintero, C.; Falguera, P.; Muñoz, H, 2010).

Las PC y RC pueden emplearse como barrera a gases y vapor de agua, para este propósito se aplican sobre la superficie del alimento como es el caso en el recubrimiento de frutas y hortalizas frescas, en donde la función primordial es la de restringir la pérdida de humedad de la fruta hacia el ambiente y reducir la absorción de oxígeno por la fruta para disminuir la tasa de la actividad respiratoria (Kester y Fennema, 1986, 1989; Hagenmaier y Baker, 1996; Debeaufort y col., 1998; Bosques, 2003).

#### **3.4.2 Requerimientos y ventajas del uso de películas comestibles**

A las películas comestibles en la mayoría de los casos se les llama aditivos ya que no proveen un valor nutricional significativo al alimento, por otro lado, si de alguna forma incrementan el valor nutricional del alimento pueden ser calificadas como ingredientes (Debeaufort y Quezada-Gallo, 1998). Labuza y Contreras-Medellín (1981). Comentan que las películas deben de tener tan poco sabor como sea posible o de lo contrario deben tener un sabor compatible con el alimento al cual

se está recubriendo. Debido a que las películas son tanto componentes del alimento como empaques del mismo deben reunir los requisitos siguientes (Krochta et al., 1994; Yu, 2004).

- Buenas cualidades sensoriales.
- Alta eficiencia mecánica y de barrera.
- Estabilidad bioquímica, fisicoquímica y microbiana.
- Deben estar libres de tóxicos.
- Seguros para la salud.
- De tecnología simple.
- No deben de tener contaminantes.
- De bajo costo tanto de materiales como en los procesos.

Guilbert (1986). Menciona algunas de las ventajas de utilizar (PC):

- Pueden ser ingeridas por el consumidor.
- Su costo es generalmente bajo.
- Su uso reduce los desechos y la contaminación ambiental.
- Pueden mejorar las propiedades organolépticas, mecánicas y nutricionales de los alimentos.
- Proporcionan protección individual a pequeñas porciones de alimento.
- Pueden ser usadas en alimentos heterogéneos como barrera entre los componentes.

### **3.4.3 Ventajas y desventajas del uso de recubrimientos comestibles**

Dentro de las ventajas del uso de películas comestibles en frutas y hortalizas mínimamente procesadas se encuentran (Rojas-Graü, 2006):

- Mejoran la retención del color, ácidos, azúcares y componentes del sabor.
- Reducen la pérdida de agua.

- Mantienen la calidad durante el almacenamiento.
- Disminuyen los desordenes metabólicos durante el período de conservación.
- Permiten la adición de otros compuestos.
- Reducen el uso de envases sintéticos.

Sin embargo, su utilización también presenta inconvenientes. Una de las principales desventajas del uso de los RC es su grosor, ya que este puede restringir el intercambio gaseoso durante la respiración de los tejidos, pudiendo causar acumulación de altos niveles de etanol y por ende el desarrollo de malos sabores (Rojas-Graü, 2006).

#### **3.4.4 Materiales empleados para la elaboración de PC Y RC**

Las PC y RC se han clasificado con base en el material estructural, de modo que se habla de películas y recubrimientos basados en lípidos, polisacáridos, proteínas, o mezclas de estos (Quintero, C.; Falguera, P.; Muñoz, H. 2010).

Además se pueden incorporar otros componentes que ayuden a mejorar las propiedades finales de PC y RC como plastificantes y/o faciliten su obtención como surfactantes y emulsionantes (Sánchez-Gonzales, 2008). A continuación se describen las características más importantes de cada uno de ellos.

##### **3.4.4.1 Lípidos**

Los lípidos son los recubrimientos que mejores resultados han dado en el recubrimiento de frutos, mediante su utilización se reduce la respiración, deshidratación y mejora el brillo de estos productos, además ofrece barrera al vapor del agua, los lípidos empleados para elaborar películas y recubrimientos comestibles se encuentran las ceras de abeja, candelilla y carnauba; los triglicéridos, monoglicéridos acetilados, ácidos grasos, alcoholes, y ésteres de ácidos grasos de sacarosa (Pérez y col, 2008).

### **3.4.4.1.1 Ceras**

Generalmente las películas y recubrimientos elaborados a partir de ceras han mostrado ser más resistentes al transporte de la humedad que otras películas elaboradas con otros lípidos o resinas. Materiales hidrofóbicos como ceras y ésteres de ácidos grasos han sido aplicados como recubrimientos, observando que presentan excelentes barreras que limitan la transferencia de vapor de agua, no obstante, no poseen la capacidad de formar películas con estabilidad y maleabilidad adecuadas para su manejo, presentan problemas de control de homogeneidad, grosor, superficie grasosa y ruptura (Kamper y Fennema, 1985; Baldwin y col., 1997; Ruiz, 2004).

#### **3.4.4.1.1.1 Usos de ceras**

Los productos tratados con cera cumplen con la función de retardar la maduración y el envejecimiento de frutas y hortalizas, manteniendo una atmósfera controlada en la superficie exterior, que permita la protección del producto ante las condiciones ambientales de transporte y almacenamiento (Multiceras, 2011).

Las emulsiones de cera permiten asegurar una impregnación y un depósito uniformes de la cera en la superficie de las frutas y hortalizas, retardando de manera muy eficiente su deshidratación, la transferencia de gases (oxígeno, dióxido de carbono), la migración de aceites y el transporte de solutos. Así mismo, estas acciones de protección permiten mejorar la retención de componentes esenciales volátiles, controlar la transferencia de aditivos, así como el mantener un acabado brillante en la superficie del producto (Multiceras, 2011).

#### **3.4.4.1.1.2 Tipos de ceras**

1) Las ceras al agua, que son derivadas de resinas naturales y de plantas, como la cera de abeja, de aceites orgánicos, la camauba, la candelilla, resinas de madera, ésteres de sacarosa, ceras a base de proteínas, del suero de la leche, de

polisacáridos, entre otros. Son más eficientes, producen menor brillo y son menos contaminantes (Agro industria argentina, 2011).

2) Las ceras solventes, cuya composición es básicamente de hidrocarburos, se han dejado de utilizar por contener derivados del petróleo, son más contaminantes aunque ofrecen la misma protección (Agro industria argentina, 2011).

#### **3.4.4.1.1.3 Ventajas del uso de ceras**

- Reducción de la deshidratación, siendo este el mejor beneficio.
- Protección a la superficie del fruto, especialmente cuando existen lesiones y rasguños que pueden ser sellados con cera.
- Mejora la apariencia externa del fruto, al proveerle un brillo uniforme
- Permite un control de intercambio gaseoso ya que la cera actúa como una barrera para los gases que entran y salen del fruto, generando una atmosfera modificada, lo cual retrasa su proceso de maduración.
- Prolongan la vida de anaquel.
- Mejoran el precio.
- Disminuyen la oxidación (Quiminet, 2011).

#### **3.4.1.1.1.4 Encerado en frutas y hortalizas**

Las frutas y hortalizas poseen una capa de cera natural en la superficie, la cual se pierde debido al manejo que se le da a los productos. Esta cera natural puede ser removida intencionalmente por medio del lavado con fines higiénicos y/o tratamientos involuntarios como consecuencia del manejo al que son sometidos durante el proceso de cosecha y empaque (Quiminet, 2011).

Las ceras funcionan como agentes de recubrimiento, se emplean principalmente por cuestiones estéticas y para evitar la degradación del alimento; actualmente se está investigando en ceras comestibles, biodegradables, o bien, que aporten alguna proteína adicional a los frutos (Imagen agropecuaria, 2011).

La mayoría de las ceras contienen antioxidantes naturales, y las ceras vegetales son en general más ricas en estas sustancias. Su utilización ayuda a retardar la alteración oxidativa del fruto, pero no la evitan de una forma definitiva. Las ceras en combinación con otros manejos de poscosecha pueden dar mejores resultados en la conservación de frutos (Imagen agropecuaria, 2011).

#### **3.4.4.1.2 Características de algunos lípidos formadores de PC y RC**

##### **3.4.4.1.2.1 Cera de abeja**

La cera de abeja es llamada cera blanca (cera alba) o cera amarilla (cera flava) dependiendo del grado de refinación del producto. La materia prima básica es secretada por las abejas durante el proceso de construcción de sus panales. La cera de abeja cruda se obtiene fundiendo y filtrando los panales para obtener una cera limpia. Esta cera cruda tiene un color que varía entre café y amarillo, dependiendo del tipo de flores que existen en la región donde habitan las abejas. La cera de abeja contiene ácidos libres, ésteres y otros componentes naturales que le dan características especiales (Cuadro 1). Tales como propiedades emulsificantes, plasticidad, compatibilidad con otros productos naturales y olor agradable (Apiarios la rinconada, 2011).

La cera es un cuerpo químicamente muy estable y sus propiedades no se alteran apenas con el tiempo. Resiste perfectamente a la hidrólisis o la oxidación natural y es totalmente insoluble en agua. Los ácidos o los jugos digestivos de los animales no pueden destruirla, con excepción de las larvas de algunas polillas parásitas presente en las colmenas o de algunos pájaros como el Indicador Major (pájaro africano). La cera de abeja es de naturaleza lipóide y está constituida químicamente Por:

- Hidrocarburos saturados, siendo el más frecuente el heptacosano. Son hidrocarburos que contienen un número impar de átomos de carbono.

- Ácidos o hidroxiácidos igualmente saturados, en la mayoría de los casos, pero cuyo número de átomos de carbono es par, como el ácido palmítico.
- Alcoholes, monoles y dioles.

La cera se presenta como un cuerpo sólido a temperatura normal, frágil cuando la temperatura es baja, pero cuando esta es de unos 35 a 40° C se vuelve rápidamente plástica. Su punto de fusión se sitúa alrededor de los 64° C ( $\pm 1$ ). Su densidad es de 0.95 ( $\pm 2$ ) para una cera amarilla del comercio a 15° C (Aparios la Rinconada, 2011).

**Cuadro 1.** Composición química aproximada de la cera de abeja.

	
Componentes	%
Mono ésteres	35
Hidrocarbonato	14
Ácidos libres	12
Di ésteres	14
Hidroxipoliésteres	8
Hidroximonoésteres	4
Tri ésteres	4
Ácidos poliésteres	2
Ácidos mono éteres	1
Materias no identificadas	7

Fuente: SJ Guanín Guanín, 2006

#### 3.4.4.1.2.2 Cera de Carnauba

La Cera de Carnauba se obtiene de las hojas de una especie de palma Que

se conoce como *Copernicia cerífera*, nombrada así en honor del astrónomo polaco Nicolás Copérnico. La planta crece normalmente en las regiones secas de Ceará, al noreste de Brasil, aunque se da también en menores cantidades en el sur de Brasil y en el norte de Paraguay y Argentina, La *Copernicia cerífera* es una palma de tronco recto y de lento crecimiento, con altura promedio de 7 a 11 metros, pero que llega en casos excepcionales hasta los 15 metros de altura. Su corteza es dura, gruesa y en forma de escamas. Las hojas crecen de pecíolos largos, por cuyos poros exuda la cera durante los meses más secos del año. La naturaleza provee esta cera para prevenir la excesiva evaporación del agua que contiene la planta. El árbol se reproduce prolíficamente, Es reconocida por sus propiedades de brillo. Combina dureza con resistencia al desgaste y es compatible con muchos otros tipos de cera (cuadro 2). Dependiendo de la sección de la hoja de donde se extrae la cera y de la edad de la planta, La cera de carnauba contiene principalmente esteres de grasos, alcoholes resinas, ácidos e hidrocarburos (cuadro 2) (Multiceras, 2011).

**Cuadro 2.** Composición Química de la cera de carnauba

 Carnauba	
Componentes	% Peso
Hidrocarburos	1.5-3.0
Esteres	84-85
Alcoholes y resinas	6-9
Ácidos libres	3.3-5.0
Humedad	0.5-1.5
Residuos inorgánicos	1.0
Fuente: Multiceras, 2011	

### 3.4.4.1.2.3 Cera de Candelilla

La cera de Candelilla es una sustancia compleja de origen vegetal. Es dura, quebradiza y fácil de pulverizar. Sin refinar es de apariencia opaca. Su color puede variar desde café claro hasta amarillo, dependiendo del grado de refinación y blanqueo. Su superficie puede alcanzar altos niveles de brillo al ser refinada, siendo ésta una de las propiedades más apreciadas en la cera de Candelilla para diversas aplicaciones de especialidad. Disuelve bien los colorantes básicos. Es insoluble en agua, pero altamente soluble en acetona, cloroformo, benceno y otros solventes orgánicos. La mayoría de los constituyentes de la cera de Candelilla son componentes naturales que se encuentran en los vegetales y en las frutas. Su composición química se caracteriza por un alto contenido de hidrocarburos (alrededor del 50%) y una cantidad relativamente baja de ésteres volátiles (cuadro 3). Su contenido de resina puede llegar hasta 40% en peso, lo cual contribuye a su consistencia pegajosa (Instituto de la candelilla, 2011).

**Cuadro 3.** Composición Típica de la Cera de Candelilla.

 candelilla		
(% Peso)	Cruda	Refinada
Hidrocarburos	46	57
Alcoholes libres	13	14
Ácidos libres	7	7
Ésteres simples	2	21
Ésteres hidroxilados	8	8
Ésteres ácidos	10	0
Diésteres	9	0
Fuente: Instituto de la candelilla, 2011		

### **3.4.4.2 Polisacáridos**

Los polisacáridos solubles en agua son cadenas largas de polímeros ampliamente utilizados en la industria alimentaria. Estos compuestos son no tóxicos y se encuentran ampliamente distribuidos (Cha y Chinnan, 2004). Debido a su naturaleza hidrofílica, las películas elaboradas a partir de polisacáridos ofrecen buenas propiedades de barrera frente a los gases (CO<sub>2</sub>) y (O<sub>2</sub>) dentro de ciertas condiciones, sin embargo su funcionalidad como barrera contra la pérdida de humedad es pobre debido a su naturaleza hidrofílica (Pastor, 2010).

Una variedad de polisacáridos y sus derivados han sido probados para ser usados potencialmente en películas o recubrimientos comestibles. Estos incluyen alginatos, pectinas, carragenina, gomas (por ejemplo agar de algas marinas), quitosano, almidón, derivados de celulosa, mucilagos y mezclas (Kester y Fennema, 1986; Ruiz, 2009).

Entre las ventajas potenciales de los recubrimientos a base de polisacáridos se pueden mencionar que no son grasosos, son películas de bajas calorías y pueden emplearse para extender la vida de anaquel de frutas y hortalizas sin alto riesgo de desarrollar condiciones de anaerobiosis, 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 (Bósquez, 2003).

#### **3.4.4.2.1 Características de algunos polisacáridos formadores de PC y RC**

##### **3.4.4.2.1.1 Celulosa y sus derivados**

La celulosa es un polisacárido compuesto por unidades de D-glucosa que son altamente permeables al vapor de agua, constituye uno de los RC y PC más empleados en productos frescos ya que posee formas solubles no iónicas, tales como la metilcelulosa (MC), y formas aniónicas, como la carboximetilcelulosa (CMC) que le confieren excelentes propiedades mecánicas y funcionales (Aguilar, 2005).

#### **3.4.4.2.1.2 Quitosano**

Este polisacárido de alto peso molecular, normalmente obtenido por acetilación alcalina de la quitina proveniente de crustáceos, es ampliamente utilizado como RC, este tipo de recubrimiento es efectivo en prolongar la vida útil y mejorar la calidad de frutas ya que presenta una alta permeabilidad selectiva frente a los gases, una ligera resistencia al vapor de agua, además de poseer propiedades antifúngicas (Quintero, C.; Falguera, P.; Muñoz, H, 2010).

#### **3.4.4.2.1.3 Pectinas**

Las pectinas son un importante constituyente de la pared celular de muchas plantas. Comercialmente las pectinas son extraídas del bagazo de manzanas o de la piel de frutos cítricos, las pectinas de bajo grado de metoxilación se emplean normalmente en la elaboración de RC ya que son capaces de formar geles firmes en presencia de iones de calcio, los cuales establecen puentes estables con los grupos carboxilos de la pectina (Rojas-Graü, 2006).

#### **3.4.4.2.1.4 Gelano**

El gelano es un polisacárido secretado por la bacteria *Pseudomonas elodea* es un hidrocoloide multifuncional el cual puede ser usado en una amplia variedad de productos alimenticios que demandan procesos de gelificación, texturización, estabilización, suspensión y formación de películas. Este polisacárido es capaz de formar recubrimientos con buenas propiedades mecánicas y de barrera, además de ser un gel de apariencia transparente (Yang y Paulson, 2000; Rojas-Graü, 2006).

#### **3.4.4.2.1.5 Almidón**

El almidón es uno de los materiales crudos más comúnmente empleados en la agricultura ya que es económico, fácilmente disponible y relativamente fácil de manipular, la amilosa es el compuesto responsable de la formación de

recubrimientos en el almidón y su uso para tal fin se ha extendido en los últimos años, los recubrimientos elaborados con este material presentan baja permeabilidad al oxígeno (Rojas-Graü, 2006).

#### **3.4.4.2.1.6 Mucílagos**

Los mucílagos son polisacáridos heterogéneos, formados por diferentes azúcares y en general ácidos urónicos. Se caracterizan por formar disoluciones coloidales viscosas: geles en agua. Los mucílagos son constituyentes normales de las plantas. Investigaciones recientes han demostrado que el gel proveniente de la planta de sábila (*Aloe vera*) puede prolongar la conservación de productos frescos. De la planta de sábila se puede extraer un gel cristalino (mucílago) el cual está libre de aromas y sabores (Rojas-Graü, 2006).

Serrano *et al.* (2006). Emplearon un gel elaborado a partir de *Aloe vera* para el recubrimiento de uvas de mesa, observando una extensión de la vida útil de las frutas de hasta 35 días comparado con uvas sin recubrir. Además, dicho recubrimiento permitió retener la concentración de ácido ascórbico de las uvas.

Por su parte, Martínez-Romero *et al.* (2006). Estudiaron el efecto del *Aloe vera* en el recubrimiento de cerezas observando una disminución de los diferentes parámetros responsables de la pérdida de calidad de la fruta, además de excelentes propiedades sensoriales de los recubrimientos.

Del-Valle *et al.* (2005). Desarrollaron un recubrimiento comestible a partir de mucílagos de cactus (*O. ficus indica*) con el fin de extender la vida útil de fresas. Este recubrimiento no afectó la calidad sensorial de las frutas recubiertas, manteniendo además su color y firmeza original durante el almacenamiento.

#### **3.4.4.2.1.7 Puré de frutas**

Las sustancias pécticas y celulósicas constituyen los polisacáridos primarios en los purés de frutas, siendo la matriz estructural de este tipo de RC. Además, la variedad

de azúcares presentes en los purés de frutas funcionan como agentes plastificantes, lo que le confiere un beneficio añadido (Rojas-Graü, 2006).

El uso de estos recubrimientos es también bastante reciente. Mc Hugh *et al.* (1996). Fueron los primeros en desarrollar estas coberturas a partir de frutas como manzana, pera, melocotón y albaricoque, siguiendo las nuevas tendencias de consumo dirigidas a la adquisición de productos más naturales.

Más adelante, Mc Hugh y Senesi (2000). Incorporaron lípidos a coberturas de puré de manzana con el fin de mejorar las propiedades de barrera de los recubrimientos, además de ácido cítrico y ácido ascórbico como inhibidores del oscurecimiento. Observaron que la adición de lípidos a las coberturas de manzana redujo significativamente la permeabilidad de agua, además de mantener el sabor y aroma de las piezas de fruta (Rojas-Graü, 2006).

#### **3.4.4.3 Proteínas**

Proteínas de origen animal y vegetal tales como el colágeno, la gelatina, las proteínas miofibrilares de pescado, la queratina, las proteínas del huevo, la caseína, las proteínas del aislado de suero de leche, la zeína de maíz, el gluten de trigo, la proteína de soya, la proteína de cacahuate, entre otras pueden emplearse para elaborar películas y/o recubrimientos comestibles (Quintero, 2006) las películas y recubrimientos elaborados a partir de proteínas presentan buenas propiedades de barrera frente al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, pero no frente al agua (Cha y Chinann, 2004).

##### **3.4.4.3.1 Características de algunas proteínas formadoras de PC y RC**

###### **3.4.4.3.1.1 Caseína**

La caseína, una proteína de la leche bastante soluble en agua, puede dar lugar a RC y PC con buenas propiedades mecánicas, además de no conferir ningún

tipo de color u olor diferente del alimento donde se aplica. Debido a su alta permeabilidad al vapor de agua, necesita de otras sustancias que mejoren sus propiedades de barrera. Por ejemplo, la incorporación de lípidos en recubrimientos de caseína proveen una buena protección para frutas y vegetales contra la pérdida de agua y el pardeamiento oxidativo (Rojas-Graü, 2006).

#### **3.4.4.3.1.2 Proteínas del suero**

Proteínas del suero representan el 20% del total de las proteínas presentes en la leche y son consideradas de muy alta calidad. Contienen cinco grupos importantes: Beta-Lacto globulinas, Alpha-lactalbuminas, Inmunoglobulinas, albúmina de serum bovino y proteasa-peptonas, las coberturas hechas a partir de proteínas de suero aisladas poseen alta permeabilidad a los gases y han sido probadas en frutas. Un estudio realizado en manzanas Fuji cubiertas con este tipo de RC indico que dichas coberturas son buenas barreras al intercambio gaseoso (Rojas-Graü, 2006).

#### **3.4.4.3.1.3 Zeína**

La zeína es una proteína natural del maíz, insoluble en agua, pero soluble en soluciones acuosas de alcohol, glicerol y ésteres de glicerol (Martín-Polo *et al.*, 1992). Posee buenas propiedades para formar coberturas, además de excelentes propiedades de adhesividad y buena barrera al oxígeno, aunque por su elevada hidrofiliidad y fragilidad requieren la adición de agentes plastificantes como el glicerol (Rojas-Graü, 2006).

#### **3.4.4.4 Mezclas o sistemas multicomponentes**

Las películas comestibles deben ser heterogéneas por naturaleza. Se pueden hacer mezclas de polisacáridos, proteínas y/o lípidos. Al mezclar los componentes se tiene la habilidad de utilizar las distintas características funcionales para cada clase de formación de la película (Bósquez, 2003).

Guilbert (1986) define los sistemas multicomponentes como: dos o más componentes que se mezclan con el propósito de complementarse y aumentar su capacidad. Las combinaciones que se hicieron primero, fueron de materiales altamente poliméricos, ejemplos: almidón con alginatos, gomas con almidón y pectinas con gelatinas (Bósquez, 2003).

#### **3.4.4.5 Otros componentes (aditivos)**

La influencia de otros componentes llamados aditivos dependerá de su concentración, estructura química, grado de dispersión en el recubrimiento y grado de interacción con el polímero. Si se obtiene una adecuada homogeneización del sistema es posible garantizar la uniformidad en el tamaño y distribución de las partículas de la fase dispersa, lo que repercutirá en la funcionalidad de barrera contra la transferencia de masa de la cubierta formada (Bósquez, 2008).

Los aditivos sirven para impartir propiedades mecánicas, nutricionales y organolépticas a los recubrimientos, se utilizan diversos aditivos, como agentes antimicrobianos, ácidos orgánicos, antioxidantes, colorantes, saborizantes y otros componentes nutritivos. Los aditivos pueden ser (Guilbert, 1986: Guzmán, 2003):

- A. Plastificantes. como alcoholes polihidricos, ceras, aceite, ácidos.
- B. Surfactantes y emulsificantes. como grasas, aceites y polietilenglicol.
- C. Conservadores químicos. como acido benzoico, acido ascórbico, sorbato de potasio y acido propiónico.

##### **3.4.4.5.1 Características de aditivos formadores de PC y RC**

###### **3.4.4.5.1.1 Plastificantes**

Son moléculas pequeñas de bajo peso molecular, de baja volatilidad y con una naturaleza química similar a la del polímero formador de recubrimiento. Se usan para mejorar la flexibilidad y la funcionalidad de los recubrimientos (Guzmán, 2003).

El plastificante debe ser miscible con el polímero y de ser posible, soluble en el solvente. Los recubrimientos requieren de una concentración de plastificante entre el 10 y 60% (base seca) (Guzmán, 2003). Según Guilbert (1986). Los plastificantes comúnmente utilizados en alimentos son:

- A) Mono-, di- y oligosacáridos (glucosa, jarabes, miel).
- B) Poliols (sorbitol, glicerol, polietilenglicoles y sus derivados).
- C) Lípidos y derivados (ácidos grasos, monoacilgliceroles, derivados éster y surfactantes).

Dentro de los plastificantes más utilizados podemos mencionar al glicerol.

#### **3.4.4.5.1.1 Glicerol**

Generalmente se requieren plastificantes como el glicerol en las formulaciones a base de polisacáridos y de proteínas, para aumentar la flexibilidad de los recubrimientos, al aumentar el volumen libre o la movilidad molecular de los polímeros, reduciendo los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros y aumentando el espacio intermolecular. Los plastificantes afectan la capacidad de atracción de agua del sistema y generalmente suelen aumentar la permeabilidad al oxígeno de los recubrimientos comestibles (Rojas, 2006).

#### **3.4.4.5.1.2 Emulsificantes y surfactantes**

La naturaleza física de la región interfacial es crucial para obtener una emulsión de alta calidad y para conseguirla frecuentemente se adicionan emulsificantes: la función principal de los emulsificantes es la de promover y/o estabilizar una emulsión (Bósquez, 2003).

En concreto un emulsificante no necesariamente confiere estabilidad duradera, sino simplemente tiene la capacidad de adsorberse rápidamente en la

interface recién creada durante la emulsificación mientras que la estabilidad a largo plazo usualmente es conferida por las proteínas y polisacáridos (Bósquez, 2003).

#### **3.4.4.5.1.3 Antimicrobianos (conservadores)**

Los microorganismos y procesos bioquímicos son las principales causas de alteración de los alimentos, en las frutas y hortalizas el problema principal es el ataque de mohos y levaduras, así como el oscurecimiento enzimático (García, 2004)

Los antimicrobianos se utilizan para controlar el crecimiento de mohos, levaduras y bacterias, son compuestos usados para retardar o prevenir el deterioro fisicoquímico o microbiológico de los alimentos, los cuales pueden deteriorarse a través de cambios adversos causados por la presencia de enzimas, oxígeno, luz perdida de humedad o más importante la acción de microorganismos. Los antimicrobianos pueden tener al menos tres tipos de acción sobre el microorganismo (García, 2004):

- Inhibición de la biosíntesis de los ácidos nucleicos o de la pared celular.
- Daño a la integridad de las membranas.
- Interferencia con la gran variedad de procesos metabólicos esenciales.

##### **3.4.4.5.1.3.1 Factores considerados en el uso de antimicrobianos**

El uso y selección de un antimicrobiano depende de una serie de factores que deben ser considerados y evaluados como (García, 2004):

1. El antimicrobiano y las propiedades químicas del compuesto tales como solubilidad y contraste de disociación.
2. La seguridad del compuesto en los niveles sugeridos.
3. Las propiedades y composición del alimento como el pH, contenido de grasa, proteína y actividad de agua.

4. El tipo y los niveles iniciales de los microorganismos en el producto.
5. El costo del antimicrobiano.
6. La seguridad de que el antimicrobiano no afecte la calidad del producto.

#### **3.4.4.5.1.3.2 Compuestos naturales con actividad antimicrobiana**

Los que han suscitado mayor interés para su aplicación a alimentos son: quitosano, aceites esenciales, polipéptidos antimicrobianos, bacteriocinas, ciertos enzimas como el sistema lactoperoxidasa y la lisozima, ácidos grasos y orgánicos, propóleo, entre otros (Pastor, 2010).

##### **3.4.4.5.1.3.2.1 El quitosano**

Polímero obtenido por desacetilación alcalina de la quitina proveniente de crustáceos, tiene la capacidad de formar films y se utiliza ampliamente en la formulación de recubrimientos (Zhang y Quantick, 1998; Jiang y Li, 2001; Vargas, 2008). Este tipo de recubrimiento es efectivo en prolongar la vida útil y mejorar la calidad de frutas enteras y cortadas ya que presenta una alta permeabilidad selectiva frente a los gases, una moderada resistencia al vapor de agua (Tharanathan y Kittur, 2003), además de poseer propiedades antimicrobianas (Cuero, 1999), antifúngicas (Krochta y de Mulder- Johnston, 1997), y antibacterianas (Muzzarelli y Muzzarelli, 2003).

El potencial de aplicación del quitosano a alimentos es enorme y ha dado lugar a la aparición de diversas patentes para su aplicación a alimentos. Existen en la bibliografía numerosos estudios de aplicación de películas de quitosano a diferentes alimentos, desde frutas y hortalizas enteras o mínimamente procesadas a carnes y derivados y productos de la pesca (Jeon *et al.*, 2002; Sagoo *et al.*, 2002; Vargas *et al.*, 2006; Chien *et al.*, 2007; Vargas *et al.*, 2009b; Duan *et al.*, 2010).

### **3.4.4.5.1.3.2.2 Aceites esenciales (AEs)**

Son mezclas de varias sustancias químicas biosintetizadas por las plantas que dan el aroma característico a algunas flores, árboles, semillas y a ciertos extractos de origen animal. Son intensamente aromáticos, no grasos, volátiles y livianos. Son insolubles en agua, levemente solubles en vinagre, y solubles en alcohol, grasas, ceras y aceites vegetales. Se oxidan por exposición al aire (Mihaliak *et al.*, 1991). Los principales componentes de los AEs con actividad antimicrobiana son compuestos fenólicos como terpenos, alcoholes alifáticos, aldehídos, cetonas, ácidos e isoflavonas (Chorianopoulos *et al.*, 2008).

En general, la eficiencia antimicrobiana de los AEs depende de la estructura química de sus componentes y de su concentración. Así, los AEs con una alta concentración en eugenol (como es el caso del aceite de clavo, perejil y canela), en cinamaldehído (AE de canela) y en citral (AE de limón y lima) son potentes antimicrobianos (Pastor, 2010).

### **3.4.4.5.1.3.2.3 El propóleo**

Es una resina natural, de composición compleja y consistencia viscosa, que las abejas elaboran a partir de partículas resinosas de diferentes vegetales. Su composición difiere en función de la variedad de las abejas, el clima, la flora, la época de recolección y la situación geográfica (Pastor, 2010).

Los principales componentes son resinas y bálsamos (50%), compuestas por flavonoides, ácidos fenólicos y sus ésteres, ceras (30%), aceites esenciales (10%), polen (5%) y compuestos orgánicos (5%) (Juliano *et al.*, 2007).

## **3.4.5 Principales Propiedades de PC y RC**

De acuerdo a Olivas y Barbosa-Cánovas (2005). Los RC y PC aplicados en la

cadena hortofrutícola producen una atmósfera modificada en la fruta, reducen el deterioro, retrasan la maduración de frutas climatéricas, reducen la pérdida de agua, retardan los cambios de color, mejoran la apariencia, disminuyen la pérdida de aromas, reducen el intercambio de humedad entre trozos de frutas, transportan compuestos antioxidantes y estabilizantes de la textura, imparten color y sabor, y pudieran servir como transporte de otras sustancias. Entre las principales propiedades de los RC y PC pueden destacar las siguientes:

#### **3.4.5.1 Propiedades de barrera**

Para muchas aplicaciones, la característica funcional más importante de los RC es la resistencia a la migración de humedad. La deshidratación superficial constituye uno de los principales problemas en el mantenimiento de la calidad de los productos hortofrutícolas (Rojas-Graü, 2006).

La naturaleza del RC empleado desempeña aquí un papel muy importante: a mayor hidrofiliidad de los materiales utilizados, mayor permeabilidad al vapor de agua (Martín-Belloso *et al.*, 2005).

Los recubrimientos elaborados a partir de polímeros naturales, tales como los polisacáridos (almidón y derivados de la celulosa, alginatos, pectinas, gelano, carragenano, entre otros), así como aquellos a base de proteínas, muestran una baja resistencia al agua y poseen pobres propiedades de barrera como consecuencia de su naturaleza hidrofílica (Rojas-Graü, 2006).

Para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua de este tipo de recubrimientos se pueden incorporar lípidos, que emulsificados en la solución formadora de coberturas o formando una doble capa sobre el producto, pueden ayudar a prevenir reacciones degradativas del tejido como consecuencia de la pérdida de humedad, así como las reacciones respiratorias en los tejidos vegetales (García *et al.*, 2000.; Yang y Paulson, 2000.; Rojas-Graü *et al.*, 2006).

De esta manera se pueden formular coberturas comestibles combinando las ventajas de los componentes hidrocoloides y de los componentes lipídicos, éstos últimos como barrera al vapor de agua y los primeros como barrera selectiva al oxígeno y al dióxido de carbono, además de proveer una matriz de soporte estructural (Rojas-Graü, 2006).

Por otro lado, la habilidad de los RC para modificar el transporte de gases es importante para productos como frutas y vegetales frescos, los cuales son caracterizados por tener un metabolismo activo. Los RC aplicados a productos que respiran deben permitir una correcta modificación del entorno gaseoso dentro del envase (Gorris, 1992). Su uso sobre frutas permite la producción de una atmósfera modificada mediante un aislamiento del producto del ambiente que lo rodea (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005).

No obstante, aunque lo que se espera es una reducción de la transferencia de gases entre la fruta y el ambiente, recubrimientos extremadamente impermeables pueden inducir a la creación de condiciones de anaerobiosis que tienen como consecuencia una pérdida de los compuestos aromáticos típicos de la fruta y la presencia de aromas indeseables (Rojas-Graü, 2006).

#### **3.4.5.2 Propiedades mecánicas**

La propiedad mecánica de la película comestible tiene un gran impacto en la estabilidad y flexibilidad a cambios de temperatura, y físicos en los ingredientes. Las propiedades mecánicas que mayormente se determinan son la fuerza y el porcentaje de elongación al quiebre, el cual representa la habilidad de la película a estriarse. Las propiedades mecánicas de los RC dependen en gran medida de la composición y estructura de los ingredientes. Por lo tanto, la elección de las sustancias a emplear y/o aditivos activos a añadir están totalmente relacionadas con la función para la cual se desea utilizar la cobertura comestible, la naturaleza del alimento y el método de aplicación (Rojas-Graü, 2006).

Según Olivas y Barbosa-Cánovas (2005). Cuando el material empleado para recubrir se coloca en la superficie de las frutas, se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y adhesión entre el recubrimiento y la fruta. El grado de cohesión de los RC gobierna las propiedades de barrera y mecánicas de las coberturas. Una alta capacidad de adhesión asegura una durabilidad larga del recubrimiento en la superficie de la fruta.

#### **3.4.5.3 Propiedades físicas**

Las propiedades físicas más importantes para los recubrimientos comestibles Se encuentran: color, opacidad aparente, transparencia, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y a los gases (oxígeno, monóxido de carbono, etileno), y aquellas relacionadas con la resistencia mecánica (Roblejo, 2009)

#### **3.4.5.4 Propiedades ópticas**

En el aspecto sensorial, y en sentido amplio, se pueden considerar como propiedades ópticas todas aquellas que se perciben con el sentido de la vista. A las ya enunciadas pueden añadirse la forma, el tamaño y las características de superficie rugosidad, manchas y defectos (Roblejo, 2009).

#### **3.4.5.5 Propiedades de solubilidad**

La solubilidad es una medida de la integridad de los recubrimientos en un medio acuoso. Generalmente, mayor solubilidad indica menor resistencia al agua. Esta propiedad afecta la futura aplicación de los recubrimientos (Roblejo, 2009).

#### **3.4.5.6 Propiedades de espesor**

La mayoría de los recubrimientos comestibles son de naturaleza hidrofílica y según (Park y Chinnan, 1995). Se ha encontrado una relación dependiente

positiva entre la permeabilidad al vapor del agua y el espesor de los recubrimientos. Consideran que a medida que el espesor de los recubrimientos aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, en consecuencia, la presión parcial de vapor del agua de equilibrio en la superficie inferior de la cubierta se incrementa. Otros autores atribuyen el efecto del espesor a cambios en la estructura del recubrimiento ocasionados por el hinchamiento que provoca el agua en el polímero.

#### **3.4.5.7 Transporte de aditivos**

Un uso potencial de los RC en fruta lo constituye la retención y el transporte de aditivos, tales como antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de la textura, colorantes, saborizantes, compuestos bioactivos o funcionales, entre otros, que podrían conferir un beneficio añadido al recubrimiento. Por ejemplo, el enriquecimiento de los RC con aditivos funcionales permite mejorar aspectos de calidad, tanto nutricionales como estéticos, sin destruir la integridad del alimento (Rojas-Graü, 2006).

La incorporación de agentes antimicrobianos dentro de RC constituye una técnica innovadora en el mantenimiento de la seguridad inocuidad y vida útil de alimentos mínimamente procesados, además, pueden emplearse para transportar ingredientes activos, pudiendo ser excelentes vehículos para mejorar el valor nutricional de los alimentos (Rojas-Graü, 2006).

#### **3.4.5.8 Permeabilidad**

En los recubrimientos comestibles durante el transporte de gas pueden ocurrir dos mecanismos: difusión capilar y difusión activa la primera de estas ocurre en materiales que son porosos o que presentan imperfecciones, y la difusión activa incluye la solubilización del gas en la cubierta, difusión a través de la cubierta y finalmente el paso al otro lado de la cubierta, la velocidad de difusión aumenta con el

tamaño y el número de cavidades, causadas por la presencia de sustancias como los plastificantes. Por lo tanto, la difusión activa dependerá del tamaño y polaridad del penetrante, de la cristalinidad, de los enlaces y movimiento de las cadenas del polímero (Yu, 2004).

Los plastificantes y otros aditivos reducen la fuerza de cohesiva entre las cadenas del polímero, causando una movilidad de la cadena y, por lo tanto, un incremento en la permeabilidad debido a la interposición del plastificante con las cadenas del polímero. La presencia de insaturaciones, en el polímero, favorece la rotación de las cadenas y aumenta la difusividad, sin embargo, la introducción de grupos metil reduce la flexibilidad de la cadena, reduciendo la difusión (Guzmán, 2003).

#### **3.4.6 Mecanismos de formación de PC y RC**

En la formulación de películas y recubrimientos se necesita el uso de por lo menos un componente capaz de formar una matriz estructural con suficiente adhesividad. Las películas comestibles elaboradas, combinando Varios han sido perfeccionadas para aprovechar las propiedades funcionales complementarias de cada componente y minimizar así sus desventajas, Las sustancias formadoras de películas crean una estructura continua mediante interacciones entre moléculas, bajo la acción de un tratamiento químico o físico, La formación de una película o recubrimiento involucra uno de los siguientes procesos (Soliva y Martín, 2001; Aguilar, 2005).

- La coacervación simple, en la que se consigue la formación de la película a partir de cambios de fase o precipitación de un hidrocoloide en disolución acuosa mediante modificación de algunas propiedades del solvente (pH y cargas eléctricas).
- La coacervación compleja, en la que dos soluciones de hidrocoloides con cargas opuestas se combinan, provocando la interacción y la precipitación de la mezcla de polímeros.

- La gelificación o coagulación térmica, mediante la cual el calentamiento de la macromolécula implica su desnaturalización seguida de gelificación o precipitación, o incluso el enfriamiento de una dispersión de hidrocoloides que provoca una transición gel-sol, por ejemplo la gelatina o el agar.
- La eliminación del disolvente, en el que la formación de la película sólida se lleva a cabo gracias a la evaporación del solvente en el que se aplica.
- Para obtener una película con propiedades mecánicas adecuadas es necesario ajustar correctamente la temperatura y velocidad del secado.
- La fusión y solidificación, empleada en películas de naturaleza de lípidos consiste en el calentamiento de la sustancia empleada por encima de su punto de fusión y su posterior enfriamiento.

### **3.4.7 Métodos de aplicación de PC y RC**

Existen varias técnicas de aplicación de películas y recubrimientos comestibles, sin embargo el método de aplicación depende en gran medida del tipo de producto que se desee recubrir, la aplicación directa de la solución sobre el alimento o producto se puede aplicar por los siguientes métodos: de inmersión, frotación, aspersión, entre otros (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997; Debeaufort et al., 2003; Aguilar, 2005). El caso de productos que requieren una capa uniforme en una superficie irregular, la inmersión es la técnica que proporciona mejores resultados. Ésta técnica es la más utilizada en el recubrimiento de frutas, hortalizas y productos cárnicos (Tharanathan, 2003).

#### **3.4.7.1 Aplicación por inmersión**

En el caso de frutas y verduras, la inmersión se realiza en tanques que contienen las formulaciones formadoras de cubiertas. Posterior a esto se procede a

un escurrido y secado, dejando que una película delgada sea formada sobre la superficie del producto (Pérez y Báez, 2003).

#### **3.4.7.2 Aplicación por aspersion**

La aplicación de cubiertas por aspersion es el método convencional usado generalmente en muchos de los casos. Debido a la alta presión, un menor gasto de solución formadora de película es requerido para obtener recubrimientos uniformes (García, 2009).

#### **3.4.7.3 Aplicación por frotación**

El método de frotación se utiliza aire comprimido (menor de 5 psi o 35 kPa), este es aplicado generalmente en líneas de empaque que poseen rodillos en movimiento para lograr una dispersión uniforme (Tharanathan, 2003). El exceso de cubierta es removido con cepillos colocados por debajo de los rodillos. La cubierta espumosa contiene un poco de agua para facilitar el proceso de secado (Pérez y Báez, 2003).

#### **3.4.7.4 Condiciones relevantes en la aplicación de PC y RC**

Cabe hacer notar que en el caso de cubiertas aplicadas directamente al producto, existen dos condiciones relevantes: cohesión entre las moléculas del material de la cubierta y la adhesión entre la cubierta y la estructura de soporte, el grado de cohesión influye en las propiedades de barrera y mecánicas de la película, de forma que una cohesión estructural elevada se traduce en una reducción de la flexibilidad, de la porosidad, la permeabilidad a los gases y a los solutos, además de la fragilidad de la película (García, 2009).

El proceso de la elaboración se emplean diversos parámetros (temperatura, presión, tipo de solvente, dilución, técnica de aplicación y procedimiento de

eliminación del solvente etc.), presencia de plastificantes, agentes ligantes y del espesor final de la película, la cohesión entre los componentes de las películas es favorecida por la presencia de polímeros ordenados de cadena larga, la adhesividad de la película sobre la superficie del alimento depende principalmente de su naturaleza y del número de interacciones o enlaces entre el recubrimiento y el soporte. Por lo tanto, el uso de sustancias tenso activas como los emulsificantes, hacen posible la adherencia de una película hidrofóbica sobre un producto alimenticio muy hidrofílico (Aguilar, 2005).

### **3.4.8 Preservación de frutas y hortalizas**

El objetivo principal de empleo de películas y recubrimientos comestibles es proporcionar una semipermeable barrera contra los gases y el vapor, sin embargo, hay otros fines (Por ejemplo, para llevar a los aditivos, como potenciadores de la textura, antimicrobianos, antioxidantes, entre otros). En general, las películas y recubrimientos comestibles constituyen una opción interesante para frutos intactos, mínimamente procesados y hortalizas (Milda y Kerry, 2009).

La aplicación de barreras físicas como recubrimientos en la superficie de frutos puede regular la permeabilidad al O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua, retardando el proceso natural de madurez fisiológica. Además de preservarlos contra la infestación de insectos y crecimiento de microorganismos, estas cubiertas son una alternativa viable de conservación. El uso de cubiertas también mejora las propiedades mecánicas en el manejo de productos hortícolas (Pérez y Báez, 2003).

#### **3.4.8.1 Cambios fisicoquímicos en frutas y hortalizas**

El proceso de maduración conlleva a una serie de cambios fisicoquímicos, después de la cosecha, que determinan la calidad del producto adquirido por el consumidor. A continuación, se mencionan algunos de esos cambios, las causas que los provocan, así como el efecto que tienen sobre ellos el uso de recubrimientos en la superficie de algunos frutos (Aguilar, 2005).

### **3.4.8.1.1 Color**

El color es el cambio más obvio que se presenta en muchos frutos y es a menudo, el principal criterio utilizado por los consumidores para determinar si un fruto está maduro o no. Los cambios de color durante la maduración de la mayoría de los frutos, son producto principalmente de la degradación de la clorofila y la síntesis de pigmentos tales como carotenoides y antocianinas (Brownleader et al., 1999). Los principales agentes responsables de la degradación de la clorofila son los cambios en el pH, oxidaciones y la actividad de las clorofilasas (Wills et al., 1981; Aguilar, 2005).

Como ya se ha mencionado, los recubrimientos en frutos pueden crear una atmósfera modificada entre la película y la superficie de los mismos. Kader (1986). Afirma que la pérdida de la clorofila y la biosíntesis de carotenoides y antocianinas pueden ser retrasadas en frutos y vegetales mantenidos en atmósferas modificadas y/o controladas. Meir et al. (1995). Reportaron menores cambios de color para frutos de aguacate almacenados en atmósferas controladas, en relación con aquellos bajo condiciones normales.

Maftoonazad y Ramaswamy (2005). Estudiaron el efecto de cubiertas a base de metilcelulosa en la vida postcosecha de frutos de aguacate. Ellos reportaron una disminución en la velocidad de degradación del color verde en frutos tratados. Lo anterior lo atribuyeron a la presencia de concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> alrededor de los frutos.

En otros productos frescos como la fresa (García *et al.*, 1998<sup>a</sup> ; Del Valle *et al.*, 2005), tomate (Park *et al.*, 1994), coliflor y champiñones (Ayranci y Tunc, 2003), también se han observado beneficios, debido a los recubrimientos, en cuanto a la conservación del color.

### **3.4.8.1.2 Firmeza**

La pérdida de la firmeza durante la maduración es uno de los principales

factores que determinan la calidad y vida postcosecha de muchos frutos (García *et al.*, 1998a). Previo a la maduración, los frutos tienen una estructura celular rígida, ordenada y bien definida, mientras que paredes celulares blandas y difusas caracterizan los tejidos vegetales de los frutos maduros (Brownleader *et al.*, 1999; Aguilar, 2005).

El ablandamiento de los frutos es atribuido a la degradación de los componentes de la pared celular, principalmente pectinas, debido a la acción de enzimas específicas tales como la pectinesterasa y la poligalacturonasa (García *et al.*, 1998b; Huber *et al.*, 2001). Se ha observado que ambientes con concentraciones bajas en O<sub>2</sub> y altas en CO<sub>2</sub>, reducen la actividad enzimática causante de la degradación de las paredes celulares, permitiendo así, la retención de la firmeza de frutas y vegetales durante su vida postcosecha (Del valle y Palma, 1997; Yaman y Bayoindirli, 2002).

Resultados favorables en cuanto a la retención de la firmeza en frutos, gracias al uso de recubrimientos comestibles o biodegradables, han sido reportados por varios investigadores (Park *et al.*, 1994; McGuire y Hallman, 1995; García *et al.*, 1998a; Baldwin *et al.*, 1999; Yaman y Bayoindirli, 2002; Maftoonazad y Ramaswamy, 2005).

#### **3.4.8.1.3 Pérdida de peso**

La mayoría de los frutos y vegetales frescos están constituidos principalmente por agua. Por ende, la pérdida de peso en esos productos, es consecuencia directa de la disminución en el contenido de humedad. El mecanismo principal de pérdida de humedad, en frutas frescas y vegetales, es la difusión del vapor de agua. Lo anterior debido a un gradiente de presión entre el interior y el exterior del fruto. Las películas sobre la superficie de los frutos actúan como barreras a la difusión del vapor de agua, lo que se traduce en menores tasas de pérdida de humedad. El espesor de la barrera y la permeabilidad a la humedad, son factores importantes desde el punto de vista de la velocidad de transferencia de masa (Maftoonazad y Ramaswamy, 2005).

La disminución en el contenido de humedad puede ser una de las principales causas de deterioro, ya que ésta no solo resulta en pérdidas cuantitativas directas (pérdidas de peso), sino que también causa pérdidas en la apariencia (debido al marchitamiento y deshidratación), textura (ablandamiento, flacidez, pérdida de consistencia y jugosidad) y valor nutricional (Kader, 1986). A pesar del carácter hidrofílico de muchos biopolímeros, ellos pueden actuar como una barrera a la transferencia del agua, retardando la deshidratación y, prolongando por lo tanto, la firmeza de los frutos recubiertos (Del Valle *et al.*, 2005).

A continuación se mencionan algunos otros estudios relacionados con el efecto de los recubrimientos comestibles en la pérdida de humedad o peso de productos frescos.

Ayranci y Tunc (2003). Adicionaron cantidades de ácido esteárico en las formulaciones de películas a partir de metilcelulosa, para el recubrimiento de champiñones y coliflor. Los productos recubiertos con películas, en donde el ácido esteárico estuvo presente, presentaron menores pérdidas de humedad (al cabo de 8 días de almacenamiento), que aquellos con cubiertas donde el lípido no formó parte de la formulación.

Maftoonazad y Ramaswamy (2005). Reportaron una disminución del 50% en la pérdida de humedad, en frutos de aguacate recubiertos, después de 6 días de almacenamiento, a 20°C. Por su parte, García *et al.* (1998a) publicaron reducciones en la pérdida de peso de entre 32-45%, en fresas con películas de almidón.

#### **3.4.8.1.4 Tasa respiratoria**

Las células vegetales continúan siendo metabólicamente activas después de la cosecha, y siguen obteniendo la energía necesaria del proceso de respiración aeróbica. Como se puede apreciar en la ecuación general de la respiración (cuadro 4), este proceso consume O<sub>2</sub> y produce CO<sub>2</sub>, por lo que es de esperar que la

concentración de estos elementos en la atmósfera que rodea a la célula, tenga un efecto directo sobre la tasa respiratoria (Del valle y Palma, 1997; Aguilar, 2005).

#### Cuadro 4. Ecuación general de la respiración



La ventaja del uso de recubrimientos es que forman una barrera en la superficie del fruto, modificando la composición gaseosa interna, disminuyendo la tasa de respiración y por lo tanto, prolongando la vida postcosecha del producto, sin embargo, cabe destacar que la disminución de la tasa respiratoria y el retraso de la madurez de los frutos se obtiene siempre y cuando el fruto se mantenga respirando en forma aeróbica (Pérez y Báez, 2003; Aguilar, 2005).

Para todo producto existen límites mínimos de  $O_2$  y máximos de  $CO_2$  dentro de los cuales la modificación de la atmósfera es beneficiosa, fuera de ellos, dicha atmósfera puede tener efectos perjudiciales, tales como la maduración desuniforme, inducción o incremento de la incidencia de desórdenes fisiológicos, y desarrollo de malos olores y sabores debido a la acumulación de productos de la fermentación (Del Valle y Palma, 1997; Aguilar, 2005).

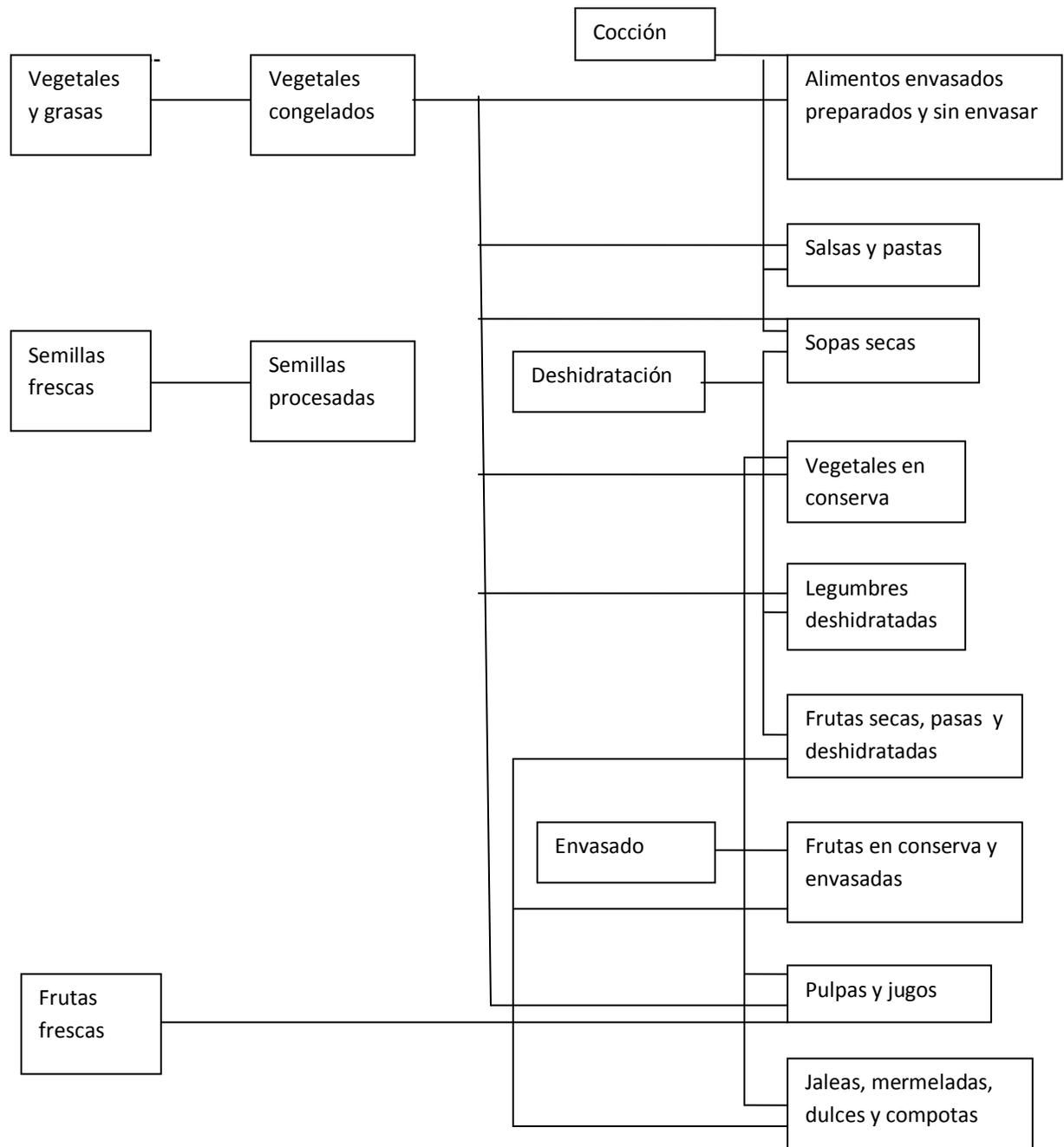
#### **3.4.9 Cadena hortofrutícola**

Comprende desde la producción de bienes de origen agropecuario como frutas frescas, vegetales y granos, hasta la transformación industrial de bienes como jugos, enlatados, mermeladas, pulpas y salsas (Departamento nacional de planeación, 2011).

Las etapas de la agroindustria hortofrutícola son recolección, producción, distribución y comercialización. Los eslabones que conforman esta cadena son

catorce y el detalle del proceso productivo depende del tipo de producto que se vaya a elaborar (figura 1).

**Figura 1.** Estructura simplificada del proceso productivo en la agroindustria hortofrutícola.



Fuente: Departamento nacional de planeación, 2011

El interés del proceso productivo es transformar las materias primas en productos como jugos, mermeladas, concentrado de frutas, frutas al jugo, vegetales enlatados, compotas, frutas y vegetales deshidratados, esta cadena se caracteriza por la gran heterogeneidad que se presenta tanto en los procesos como en el producto final (Departamento nacional de planeación, 2011).

El proceso productivo para los bienes manufacturados de esta cadena comprende principalmente tres grandes etapas (Departamento nacional de planeación, 2011):

- Cocción: consiste en introducir la materia prima en agua caliente o exponerla a vapor vivo, lo cual ayuda a inhibir la acción enzimática que causa reacciones de oxidación y sirve como limpieza adicional del producto fijando el color natural en algunos de ellos.

- Deshidratación: consiste en extraer el agua a la fruta.

- Envasado: el producto se envasa en recipientes apropiados, ya sea en latas de acero estañado, botellas de vidrio o plástico, recipientes mixtos de cartón aluminio o de cartón. En el caso de las conservas, se debe adicionar un medio de cobertura, de acuerdo con la madurez y variedad de la fruta que se está envasando.

#### **3.4.10 Aplicación de PC y RC en la cadena hortofrutícola**

El uso de una PC o RC en aplicaciones alimentarias y en especial en productos altamente perecederos, como los pertenecientes a la cadena hortofrutícola se basa en ciertas características tales como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto barrera frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua, a microorganismos y su aceptabilidad sensorial (Guilbert *et al.*, 1996, Rojas-Grau *et al.*, 2009a).

Estas características son influenciadas por parámetros como el tipo de material implementado como matriz estructural (conformación, masa molecular, distribución de cargas), las condiciones bajo las cuales se preforman las películas (tipo de solvente, pH, concentración de componentes, temperatura, entre otras) y el tipo y concentración de los aditivos (plastificantes, agentes entre cruzantes, antimicrobianos, antioxidantes, emulsificantes, etc.) (Guilbert *et al.*, 1996, Rojas-Grau *et al.*, 2009a). La aplicación de películas y recubrimientos comestibles supone una alternativa de futuro para la conservación de la calidad de frutas y hortalizas. Su aplicación permite alargar la vida útil durante el almacenamiento al reducir las pérdidas de humedad y retardar la maduración de los frutos, ya que actúan como barrera al intercambio gaseoso (Pastor, 2010).

También se utilizan para mejorar su integridad mecánica o su protección frente a la manipulación posterior y para aportar brillo a la fruta, confiriéndole un aspecto más apetecible en el punto de venta. Los recubrimientos más comunes son aquellos que se aplican a las frutas para sustituir la cera natural que se ha eliminado durante el lavado y cepillado de las mismas, procesos realizados con el fin de eliminar el polvo, la suciedad, las esporas de hongos y los pesticidas usados en el campo.

Una aplicación potencial de los recubrimientos comestibles es a productos mínimamente procesados (MP), entendiéndose por producto MP aquel que ha recibido uno o varios tratamientos suaves en su acondicionamiento y preparación para el consumo y que mantiene una apariencia y calidad próximas al producto fresco, donde el hecho diferenciador clave reside en que el tejido permanece vivo, las frutas y hortalizas MP presentan una vida útil muy corta, entre 5-7 días, debido a limitaciones microbiológicas, sensoriales y nutricionales.

En este caso, las investigaciones que se están desarrollando actualmente se centran en incluir en las formulaciones la utilización de conservantes para retardar el crecimiento de levaduras, mohos, y bacterias durante su almacenamiento y distribución, contribuyendo así a aumentar su vida útil (Pastor, 2010).

La aplicación de recubrimientos comestibles parece ser una tecnología prometedora para la mejora de la calidad y conservación de los alimentos durante el procesado y almacenamiento. En frutas y hortalizas, por ejemplo, se aplican para alargar la vida útil durante su almacenamiento, reducir las pérdidas de humedad y ralentizar los procesos de maduración de los frutos ya que actúan como barrera al intercambio gaseoso. También se utilizan para mejorar su integridad mecánica o su protección frente a la manipulación posterior y para aportar brillo al producto, confiriéndole un aspecto más apetecible en el punto de venta (Pastor, 2010).

Los recubrimientos comestibles pueden utilizarse donde los plásticos no pueden usarse. Son recubrimientos “inteligentes” puesto que son activos y selectivos con un uso potencial prácticamente infinito. Las materias primas empleadas en su formulación son de origen natural y son perfectamente biodegradables y por tanto seguros para el entorno. Si bien su costo es más elevado que el de los films de polietileno o polipropileno, son del mismo orden que los recubrimientos multicapa o los envases activos. Sin embargo, su coste no puede ser un inconveniente importante puesto que se aplican en muy pequeñas dosis y aumentan notablemente el valor añadido del producto (Pastor, 2010).

Por otra parte, los recubrimientos comestibles también pueden ser utilizados como vehículo para la incorporación de aditivos con el fin de modificar las condiciones superficiales del alimento y añadir otras funcionalidades al film resultante (Pastor, 2010). Entre los aditivos comúnmente utilizados se encuentran: antioxidantes, antimicrobianos, vitaminas, colorantes, saborizantes o la inclusión de microorganismos para un control biológico (Guilbert, 1988; Appendinni y Hotchkings, 2002; Lee *et al.*, 2003; Cha y Chinnan, 2004; Valencia-Chamorro *et al.*, 2008; Rojas-Graü *et al.*, 2009). En la bibliografía se pueden encontrar numerosos estudios de ejemplos de aplicación de films comestibles a frutas y hortalizas tales como aguacate, espárrago, fresa, mango, manzana, pera, zanahoria, entre otros (Han *et al.*, 2004; Fayaz *et al.*, 2009; Tzoumaki *et al.*, 2009; Lima *et al.*, 2010).

En la mayoría de los casos se consigue una reducción importante en la pérdida de peso de las muestras recubiertas (Fayaz *et al.*, 2009; Tzoumaki *et al.*, 2009), un mejor mantenimiento de vitaminas (Navarro, 2009; Brito, 2009) y en general, una vida útil mayor.

En el (cuadro 5). Se indican ejemplos de aplicación de RC a diferentes frutas y en el (cuadro 6). Se muestran algunos de los recubrimientos comerciales que se aplican a frutas y hortalizas frescas y enteras. Cabe destacar el uso de derivados de celulosa y ésteres de sacarosa que han sido incorporados en la mayoría de las formulaciones comerciales.

**Cuadro 5.** Recubrimientos comestibles aplicados a frutas.

Aplicación	Componente principal del RC	Función	Bibliografía
Mango	Quitosano	Reducción de pérdida de agua, mantenimiento del color y sabor original	Chien <i>et al.</i> , 2007
Papaya	Caseína y cera	Barrera a los gases, reducción de pérdida de humedad	Guilbert, 1988
Fresones	Quitosano; quitosano y ácido oleico; metilcelulosa y quitosano	Ralentización del metabolismo	Vargas <i>et al.</i> , 2004 Vargas <i>et al.</i> , 2005; Vargas <i>et al.</i> , 2006; Vargas <i>et al.</i> , 2007
	mucílagos de cactus	Mantenimiento de la textura, color y atributos sensoriales	Del-Valle <i>et al.</i> , 2005
Manzana	Quitosano	Barrera a los gases, reducción de pérdida de humedad y efecto antifúngico	Assis y Pessoa, 2004
	Alginato, gelano	Reducción de pérdida de humedad	Rojas-Graü <i>et al.</i> , 2006
Pera	Metilcelulosa	Reducción del pardeamiento.	Olivas <i>et al.</i> , 2003

FUENTE: Sánchez-Gonzales, 2008

**Cuadro 6.** Algunos de los recubrimientos comerciales que se aplican en frutas y hortalizas frescas y enteras. Adaptado de Pastor *et al.*, 2005 y Vargas *et al.*, 2008a, 2008b.

Recubrimiento	Composición	Frutas y Hortalizas (Aplicación)	Bibliografía
Nature Seal® 1000	Celulosa	Banana, mango, tomate, papaya (Spray)	Nisperos-Carriedo et al., 1992.
Nature Shine 9000	Ceras naturales	Cítricos, mango,Manzana (Pulverización)	www.interamsa.co m (29/07/04)
Food Coat	Ácidos grasos y polisacáridos	Cereza	Alonso y Alique, 2004
Pro-Long	Sucroésteres de ácidos grasos y CMC	Banana, manzana, mango, patata, tomate (Inmersión).	Dhalla y Hanson, 1988;Banks,1985; Banks,1984
SemperfrehT M	Ésteres de sacarosa, mono y diglicéridos, sal sódica de CMC	Banana, calabacín, cereza, cítricos, manzana (Cepillo, inmersión).	Avena-Bustillos et al., 1994; Curtis, 1988; Drake et al., 1988; Drake et al., 1987; Banks,1983;
Tropical Fruit Coating 213	Cera carnauba y ácidos grasos	Mango (Esponja)	Baldwin et al., 1999.
CMC: Carboximetilcelulosa			

CMC: Carboximetilcelulosa

[1]Nisperos-Carriedo et al., 1992; [2] www.interamsa.com (29/07/04); [3] Alonso y Alique, 2004; [4] Dhalla y Hanson, 1988; [5] Banks, 1985; [6] Banks, 1984; [7] Avena-Bustillos et al., 1994; [8] Curtis, 1988; [9] Drake et al., 1988; [10] Drake et al., 1987; [11] Banks, 1983; [12] Baldwin et al., 1999.

### **3.4.11 Recubrimientos comestibles y su efecto sobre la extensión de la vida útil de productos altamente perecederos**

A continuación se resumen estudios aplicados en productos frescos (fresa, banano) con el objetivo de dar a conocer el alcance de los recubrimientos comestibles y la posible extensión de la aplicación de tecnologías emergentes en productos altamente perecederos.

En el cuadró 7 se sintetizan algunas investigaciones en las cuales recubrimientos comestibles fueron evaluados en productos frescos (F) y mínimamente procesados (MP) pertenecientes a la cadena hortofrutícola, y se discrimina el tipo de matriz biopolimérica implementada, los compuestos bioactivos y su concentración, introduciendo por último una breve descripción de los aspectos relevantes a su implementación en dicho alimento.

#### **Extensión de la vida útil de fresa (*Fragaria ananasa* cv. Camarosa) mediante la optimización de recubrimientos comestibles**

Ribeiro *et al.* (2007) estudiaron la capacidad de recubrimientos a base de polisacáridos (almidón, carragenina y quitosano) para extender la vida de anaquel de frutos de fresa (*Fragaria ananasa* cv. Camarosa) y su posible aplicación industrial.

La mejor humectabilidad se logró con combinaciones de 2.0% de almidón y 2.0% de sorbitol; 0.3% de carragenina, 0.75% de glicerol y 0.02% de Tween 80; 1.0% de quitosano y 0.1% de Tween 80 respectivamente.

La permeabilidad al oxígeno en películas de carragenina representó aproximadamente el 40.0% del valor obtenido con películas de almidón. La adición de calcio a la solución formadora de la película a base de almidón produjo un incremento en el espesor del *film*, sin embargo no se obtuvieron diferencias significativas en la permeabilidad al oxígeno entre las que poseían calcio (CaCl<sub>2</sub>) en

su formulación y las que se preformaron sin la adición de dicha sustancia (Ribeiro *et al.*, 2007, Fan *et al.*, 2009, Navarro, 2010) El efecto de los recubrimientos sobre las frutas fue caracterizado a través de la determinación de cambios de color mediante cuantificación de los parámetros CIELab L\* a\* y b\*, firmeza, pérdida de peso, sólidos solubles y crecimiento microbiano durante 6 días. Al final no se encontraron diferencias significativas en el color, la mínima pérdida de firmeza fue obtenida en frutos recubiertos con carragenina adicionada con cloruro de calcio.

La pérdida mínima de masa se obtuvo con recubrimientos comestibles basados en carragenina y quitosano adicionados con cloruro de calcio. La menor tasa de crecimiento microbiano se observó en fresas recubiertas con quitosano y cloruro de calcio. Por último la aplicación a nivel industrial de RC de carragenina enriquecidos con CaCl<sub>2</sub>, produjo una disminución en la pérdida de firmeza en el fruto en contraste con las frutas que no fueron adicionadas con el RC (Ribeiro *et al.*, 2007, Fan *et al.*, 2009, Navarro, 2010)

### **Control postcosecha de antracnosis en banano (*Musa paradisiaca* L. cv. Pisang Berangan) haciendo uso de un nuevo recubrimiento comestible compuesto**

Recubrimientos comestibles a base de goma arábiga (GA) a diferentes concentraciones (5, 10, 15 y 20 % w/v), quitosano (CH) 95% desacetilado (0.5, 1.0 y 1.5% w/v) y películas compuestas de goma arábiga+quitosano (GA + CH) fueron aplicadas sobre frutos frescos de banano, con el objetivo de determinar su potencial en el control de *Colletotrichum musae*, hongo causante de la antracnosis en el fruto, que afecta la calidad postcosecha y se desarrolla con mayor facilidad durante el transporte y almacenamiento de la fruta (Maqbool *et al.*, 2010).

Estudios *in vivo* e *in vitro* se llevaron a cabo para determinar las concentraciones de las sustancias (GA y CH) que podrían tener efecto sobre el crecimiento del microorganismo mencionado (Maqbool *et al.*, 2010).

Los estudios *in vivo* comprendieron el almacenamiento de frutos de banano pre-inoculados con *C. musae*, empacados en cajas de cartón corrugado en condiciones que simulan las presentadas durante el transporte y almacenamiento ( $13 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $80 \pm 3\%$  HR), por 28 días. Transcurrido ese lapso de tiempo, se cambiaron las condiciones de temperatura y humedad relativa ( $25^\circ\text{C}$ ,  $60\%$ HR) durante 5 días, con el propósito de conocer el comportamiento de las frutas frescas durante su comercialización (Maqbool *et al.*, 2010).

Maqbool *et al.* (2010) hicieron seguimiento a la incidencia y severidad de la enfermedad, y al comportamiento de parámetros de calidad tales como el porcentaje de pérdida de peso, la firmeza, la concentración de sólidos solubles y la acidez titulable. Estudios *in vitro* mostraron que a concentraciones de 1.0 y 1.5 % w/v de quitosano se inhibió completamente el crecimiento de *Colletotrichum musae* durante los 7 días de incubación, mientras a 0.5% w/v del compuesto bioactivo el crecimiento se presentó hacia el segundo y tercer día del periodo de incubación. Por otro lado, las concentraciones de goma arábica no tuvieron efecto sobre el crecimiento de *C. musae* (Maqbool *et al.*, 2010).

Las pruebas *in vivo* permitieron a Maqbool y sus compañeros determinar que RC compuestos por una matriz polimérica de goma arábica (10% w/v) adicionada con quitosano (1.0% w/v) fueron el mejor tratamiento evaluado, ya que se obtuvo la menor incidencia de la enfermedad (16%).

Además el RC de GA+CH redujo en un 85.0% la pérdida de peso y, se mantuvo la firmeza del fruto (58,23 N.) durante y después del almacenamiento a las condiciones de comercialización en comparación con las muestras control (Maqbool *et al.*, 2010). Los recubrimientos comestibles de goma arábica adicionados con quitosano muestran un comportamiento sinérgico, al mantener parámetros de calidad sensorial y microbiológica (*C. musae*), sin producir efectos Fito tóxicos en banano almacenado durante 33 días en las condiciones anteriormente señaladas (Maqbool *et al.*, 2010).

**Cuadro 7.** Aplicación de recubrimientos comestibles en productos hortofrutícolas frescos y mínimamente procesados.

Claves: M.P., Mínimamente procesado; F, Fruta fresca; N.A., No aplica.

Hortofrutícola tratado	MP/F	Materiales de recubrimiento	Compuesto bioactivo o ingredientes funcionales	Cantidad incorporada	Efecto	Referencias
Fresa ( <i>Fragaria ananassa</i> )	F	Muchilago de cactus ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) + Glicerol	N.A.	N.A.	Permitió mantener la textura y firmeza de frutos recubiertos. Propiedades colorimétricas estables.	Del valle <i>et al.</i> , 2005.
Fresa ( <i>Fragaria ananassa</i> cv. Camarosa)	F	Almidón de yuca+ Glicerol + CaCl <sub>2</sub> Carragenina + Glicerol+ CaCl <sub>2</sub> + Tween 80 Quitosano + Tween 80+CaCl <sub>2</sub>	N.A. N.A. Quitosano	N.A. N.A. 1.0% w/v	La adición de CaCl <sub>2</sub> disminuyó la tasa de crecimiento de microorganismos. La mínima tasa de crecimiento microbiano se obtuvo con quitosano adicionado con CaCl <sub>2</sub> . La mínima pérdida de firmeza se obtuvo en frutos recubiertos con Carragenina+CaCl <sub>2</sub> .	Ribeiro <i>et al.</i> , (2007)
Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.)	MP	Almidón de ñame + Glicerol	Quitosano	0.5% - 1.5% w/v	1.5% w/v de quitosano permitió controlar la microbiota presente en zanahoria mínimamente procesada.	Durango <i>et al.</i> , 2006
Calabaza o auyama ( <i>Cucurbita moschata</i> Duch.)	MP	Caseinato de sodio Carboximetilcelulosa (CMC) Quitosano	Oleoresinas de: arándano rojo común, romero, ajo, ají, cebolla de bulbo, olivo, orégano	1,0% w/v	Microflora nativa sensitiva a recubrimientos de quitosano adicionadas con romero, olivo y ají, así como CMC+romero.	Ponce <i>et al.</i> , 2008
Ajo ( <i>Allium sativum</i> )	F	Agar - agar	Quitosano Acido acético	0.2% w/v	La pérdida de humedad fue 3 veces más baja en relación con las muestras no recubiertas. Hongos filamentosos y mesófilos aerobios fueron inhibidos en RC + quitosano y ácido acético. La permeabilidad al vapor de agua fue más baja en el RC + quitosano.	Geraldine <i>et al.</i> , 2008
Melón ( <i>Cucumis melon</i> L.) "piel de sapo"	MP	Alginato de sodio+CaCl <sub>2</sub> Pectina+CaCl <sub>2</sub> Goma gellan+CaCl <sub>2</sub>	Aceite de girasol (G3 y G6)	0.025 g./100 ml. de solución	Los 3 tipos de recubrimientos evitaron la deshidratación e inhibieron la producción de etileno. CaCl <sub>2</sub> permitió mantener la firmeza de la fruta troceada. RC de pectina presentaron las mejores propiedades organolépticas.	Oms-Oliu <i>et al.</i> , 2008a.
Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) Var. Irwin	MP	Quitosano	Quitosano	0, 0.5, 1.0, 1.5 % w/v solución en agua destilada	RC de quitosano retardaron la pérdida de peso, propiedades sensoriales y se inhibió el crecimiento de microorganismos en trozos de mango.	Chien <i>et al.</i> , 2007.

Níspero japonés (Eryobotrya japonica T.)	F	Quitosano	Quitosano	0.6% v/v	Se redujo la pérdida fisiológica de peso, la tasa de respiración y la producción de etileno en comparación con las muestras control.	Márquez <i>et al.</i> , 2009.
Espárrago blanco (Asparagus officinalis L.)	MP	CMC	N.A.	N.A.	RC implementados actuaron como barrera ante la pérdida de humedad, e intercambio de gases, se retrasó la formación de color púrpura durante el almacenamiento a 4 °C durante 11 días. El mejor tratamiento fue CMC + uso de un film extensible sintético.	Tzoumaki <i>et al.</i> , 2009.
		WPI (Proteína asilada de suero) Pullulan				
Coles de bruselas (Brassica oleracea L. gemmifera DC)	F	Película de PVC + RC de almidón de maíz + Glicerol	N.A.	N.A.	El efecto sinérgico de película de PVC y RC de almidón permitió: conservar atributos de calidad, durante 42 días de almacenamiento a 0°C. Se mantuvo contenido de A. Ascórbico y se incrementó actividad antirradical de las coles.	Viña <i>et al.</i> , 2007.
Mango (Mangifera indica Var. Tommy Atkins)	F	RC de goma policaju (Anacardium occidentale L.)	N.A.	N.A.	RC de goma policaju mostró una significativa disminución en la pérdida de masa en mangos recubiertos y almacenados a baja temperatura (4°C, 82% HR) durante 28 días.	Souza <i>et al.</i> , 2010.
Banano (Musa x paradisiaca L. cv. Pisang Berangan)	F	Goma arábica + quitosano	Quitosano	1.0 % w/v	Se redujo el ataque por antracnosis causada por Colletotrichum musae durante un periodo de almacenamiento de 28 días. Se mantuvo firmeza y frescura del producto durante 5 días en condiciones de comercialización (25 °C y 60% HR).	Maqbool <i>et al.</i> , 2010.
Pera (Pyrus communis L. cv. Flor de Invierno)	MP	Alginato de sodio + glicerol + CaCl2 Pectina + glicerol + CaCl2 Goma gellan + glicerol + CaCl2	N-acetil cisteína y Glutacion	0.75 % w/v cada uno	Se incrementó la resistencia al vapor de agua en los RC evaluados, la adición de los agentes antiapardeantes no sólo redujo el pardeamiento enzimático sino también se ralentizó el deterioro por microorganismos. Se disminuyó la producción de etileno.	Oms-Oliu <i>et al.</i> 2008b.

Fuente: Quintero, C.; Falguera, P.; Muñoz, H. 2010

## **4. EL FUTURO DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES**

En el futuro, la aplicación de películas recubrimientos comestibles será uno de los métodos más efectivos para alargar la vida útil de las frutas y hortalizas. En la actualidad aunque la aplicación de la tecnología no está muy extendida, se espera que se extienda a toda clase de productos, tanto frescos como tratados (secos, rehidratados, etc.). Su aplicación permitirá, en algunos casos, la eliminación de los envases tradicionales y por tanto, mejorará el impacto medioambiental al generar menos materiales de deshecho. La tendencia se centrará en el desarrollo de recubrimientos con componentes bioactivos que permitan alargar la vida útil y mejorar la calidad de los productos (Pastor, 2010).

### **4.1 Recubrimientos bioactivos**

Las películas comestibles tienen en la actualidad diferentes aplicaciones, y está previsto que su uso se expandirá con el desarrollo de los sistemas de recubrimiento activo (Active Coating Systems).

Esta segunda generación de materiales de recubrimiento puede emplear sustancias químicas, compuestos fitoquímicos, enzimas o microorganismos vivos que previenen, por ejemplo, el crecimiento microbiano o la oxidación de lípidos en productos alimentarios que han sido recubiertos. De esta manera los biomateriales actúan como transportadores de dichos compuestos que serán acarreados a lugares como el intestino, sin perder su actividad al estar dentro de tal matriz o durante su paso por el tracto gastrointestinal (Quintero, C.; Falguera, P.; Muñoz, H, 2010).

Estos recubrimientos podrían actuar ralentizando la degradación de los compuestos funcionales tales como, vitaminas, enzimas pro o prebióticos en la matriz del alimento a través del tiempo. Inicialmente, estos compuestos actuarían en la superficie del producto pero a medida que transcurriera el tiempo entrarían en la matriz del producto por difusión (Pastor, 2010).

## 4.2 Aplicación de micro y nanotecnologías

Estudios recientes apuestan por la aplicación de micro y nanotecnologías para desarrollar recubrimientos comestibles en los que se puedan incorporar compuestos en forma de micro o nano encapsulados que permitan controlar el pH, temperatura o presión del medio. La encapsulación protegerá a los componentes bioactivos de forma que estos sean biológicamente activos en el momento de ser consumidos (Pastor, 2010). Las aplicaciones de la nanotecnología al sector de la alimentación se centran en tres aspectos principales (Alimentaria, 2011):

- Los nano-ingredientes: permiten modificar propiedades físicas de alimentos conocidos; una liberación controlada de aromas o sabores; el desarrollo de nuevos potenciadores del sabor; el empleo de conservantes más eficientes para mantener fresco un alimento durante más tiempo; el desarrollo de nuevos alimentos; mejorar la absorción de nutrientes o contar con aditivos que actúan como filtro ultravioleta o como barrera frente al oxígeno y la humedad.
- Envases inteligentes: capaces de responder a condiciones ambientales, repararse a sí mismos o alertar al consumidor de la presencia de contaminantes o patógenos; envases de permeabilidad selectiva; envases capaces de detectar la presencia de oxígeno dentro del envase sin la necesidad de ser abierto; envases que detectan la presencia de micro organismos sobre la superficie y eliminarlos; envases con propiedades antimicrobianas y que repelen la suciedad; o nano-etiquetas que mejoren la clasificación de productos.
- Seguridad alimentaria, permitirá asegurar la calidad de los productos; analizar su composición, estimar su vida útil y frescura; detectar la presencia de aditivos, fármacos, toxinas, metales pesados, plaguicidas, fertilizantes, etc.; detectar factores anti nutricionales y alérgenos o fraudes alimentarios.

## 5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FUTURAS

De acuerdo con la revisión de diversas investigaciones bibliográficas enfocadas en el estudio y desarrollo de películas y recubrimientos comestibles se puede concluir lo siguiente:

En definitiva, la aplicación de películas y recubrimientos comestibles supone una alternativa de futuro para la conservación de la calidad de frutas y hortalizas.

El uso de películas y recubrimientos comestibles constituye un nuevo enfoque de conservación para la cadena hortofrutícola ya que pueden modificar el intercambio gaseoso del fruto, controlar la pérdida de agua y por ende la deshidratación superficial de los tejidos vivos, ser buenos portadores de agentes conservadores, además de ser una alternativa de envasado natural y biodegradable, lo que lo convierte en una técnica innovadora para la conservación de la calidad y extensión de la vida útil de este tipo de alimento.

Aunque el estudio de películas y recubrimientos comestible en frutas y hortalizas ha tenido un creciente auge en los últimos años, el interés se centra actualmente en la búsqueda de compuestos que interaccionen efectivamente con la superficie de la fruta, que permitan una modificación adecuada de los gases internos, y sobre todo, que no interaccionen con las características sensoriales de la fruta en cuestión.

En este sentido, deberían llevarse a cabo más estudios relacionados con el efecto de los recubrimientos comestibles sobre las características sensoriales y nutricionales de las frutas y hortalizas, con el fin de minimizar una posible consecuencia negativa sobre las preferencias del consumidor.

## BIBLIOGRAFÍA

AGRO INDUSTRIA ARGENTINA “Encerado en frutas” [En línea]. Consultado el 5 de marzo de 2011. Disponible en: <http://agroindustrial.com.ar/alimentos/encerado-en-frutas/>

Aguilar Méndez Miguel Á. “Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate.” Tesis de posgrado. Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada. Instituto Politécnico Nacional, 2005.

ALIMENTARIA “Nanotecnología” [En línea]. Consultado el día 30 de marzo de 2011. Disponible en: [http://www.eypasa.com/alimentaria/portadas\\_alimentaria/PDF66.pdf](http://www.eypasa.com/alimentaria/portadas_alimentaria/PDF66.pdf)

APIARIOS LA RINCONADA “Cera”. [En línea]. Consultado el 25 de febrero de 2011. Disponible en: <http://www.apiarioslarinconada.com.uy/cera.htm>

Appendini, P., Hotchkiss, J.H. 2002. Review of antimicrobial food packaging. Innovative. Food Science and Technologies, 3, 113-126.

Ayranci, E. and Tunc, S. (2003). A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. Food Chemistry, 80, 423-431.

Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O., Hagenmaier, R.D., Baker, R.A. 1997. Use of lipids in coatings for food products. Food Technology, 51, 56-64.

Bósquez Molina 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 campus Iztapalapa. México, 2003.

Bósquez Molina E. 2008. Desarrollo de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para la conservación de frutas. Rev. Mundo alimentario edición julio - agosto 2008. Pág. 28-31.

- Bosquez, M.E., Vernon, E.J., Pérez, L. y Guerrero, L.I. 2000. Películas y Cubiertas Comestibles para la Conservación en Fresco de Frutas y Hortalizas. *Industria Alimentaria*. 22(1):14-29, 32-36.
- Brito, A. 2009. Control de podredumbres y calidad poscosecha de limones tratados con recubrimientos naturales. Tesis de Master. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Brownleader, M. D.; Jackson, P.; Mobasheri, A.; Pantelides, A. T.; Sumar, S.; Trevan, M. and Dey, P. M. (1999). Molecular aspects of cell wall modifications during fruit ripening. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39, 149-164.
- Cuero, R.G. 1999. Antimicrobial action of exogenous chitosan. En: Jollès, P., Muzzarelli, R.A.A. (eds.). *Chitin and Chitinases*. Ed. Birkhäuser Verlag, Switzerland, pp. 315-333.
- Cha, D.S., Chinnan, M.S. 2004. Bipolymer-based antimicrobial packaging: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 223-237.
- Chorianopoulos, N.G., Giaouris, E.D., Skandamis, P.N., Haroutounian, S.A, Nychas, G.J.E. 2008. Disinfectant test against monoculture and mixed-culture biofilms composed of technological, spoilage and pathogenic bacteria: bactericidal effect of essential oil and hydrosol of *Satureja thymbra* and comparison with standard acidbase sanitizers. *Journal of Applied Microbiology*, 104, 1586-1869.
- Debeaufort, F. Quezada-Gallo, J.A. y Voilley, A. 1998. Edible Films and Coatings: Tomorrow's Packagings: A Review. *Critical Rev. Food Sci.* 38(4):299-313.
- Del Valle, J. M. y Palma, M. T. (1997). Preservación II: Atmósferas controladas y modificadas. En *Temas en tecnología de alimentos*. Editado por J. M. Aguilera. Instituto Politécnico Nacional. México D. F. págs. 89-130.
- Del-Valle V, Hernández-Muñoz P, Guarda A, Galotto MJ (2005) Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chem.* 91: 751-756.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION "Hortofrutícola" [En línea]. Consultado el 16 de marzo de 2011. Disponible en: <http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/Portals/0/archivos/documentos/DDE/Hortofruticola.pdf>

Diéguez Villamán María C. "Elaboración y caracterización de films comestibles basadas en mezclas entre proteínas de quínoa y quitosano." Memoria de licenciatura. Departamento de ciencia de los alimentos y tecnología química, universidad de chile, 2007.

Duan, J.Y., Cherian, G., Zhao, Y.Y. 2010. Quality enhancement in fresh and frozen lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets by employment of fish oil incorporated chitosan coatings. *Food Chemistry*, 119, 524-532.

Fayaz, A.M., Balaji, K., Girilal, M., Kalaichelvan, P.T., Venkatesan, R. 2009. Mycobased synthesis of silver nanoparticles and their incorporation into sodium alginate films for vegetable and fruit preservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 6246-6252.

García Ángel H. "Efectos de películas de quitosano sobre la vida de anaquel del queso panela." Tesis de licenciatura. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México, 2009.

García MA, Martino MN, Zaritzky NE (2000) Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings. *J. Food Sci.* 65: 941-947.

Gorris LGM, Peppelenbos HW (1992) Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products. *HortTechnology*, 2: 303-309.

Guilbert, S., Gontard, N., Gorris, L.G.M. 1996. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *LWT-Food Science and Technology*, 29, 10-17.

Guilbert, S. y Biquet, B. 1986. Technology and application of edible protective films. En "Food packaging and preservation". Editado por Mathlouthi, M. Ed. Elsevier. Londres.

Greener, D.I. y Fennema, O. 1989. Evaluation of Edible Bilayer Films for Use as Moisture Barriers for Food. *J. Food Sci.* 54:1400-1406.

Greener, D.I. y Fennema, O. 1994. Edible Films and Coatings: Characteristics, Formation, Definitions and Testing Methods. En: Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. J.M. Krochta, E.A. Baldwin y M. Nisperos-Carriedo (Eds.) Technomic, Lancaster, Pensilvania, EUA. pp.1-21.

Hagenmaier, R.D. y Baker, R.A. 1996. Edible Coatings from Candelilla Wax Microemulsions. *J. Food Sci.* 61:562-565.

Han, C., Zhao, Y., Leonard, S.W., Traber, M.G. 2004. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria x ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biology and Technology*, 33, 67-78.

IMAGEN AGROPECUARIA "Prolongan ceras naturales vida de anaquel hortofrutícola" [En línea]. Consultado el 13 de marzo de 2011. Disponible en: [http://www.imagenagropecuaria.com/articulos.php?id\\_sec=11&id\\_art=19](http://www.imagenagropecuaria.com/articulos.php?id_sec=11&id_art=19)

INSTITUTO DE LA CANDELILLA "La Cera de Candelilla" [En línea]. Consultado el 10 de marzo de 2011. Disponible en: <http://www.candelilla.org/es/cera.htm>

Jeon, Y.J., Kamil, J.Y.V.A., Shahidi, F. 2002. Chitosan as an edible film for quality preservation of Herring and Atlantic cod. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5167-5178.

Juliano, C., Pala, C.L., Cossu, M. 2007. Preparation and characterisation of polymeric films containing propolis. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 17, 177-181.

Kader, A. A. (1986). Biochemical and Physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology* 40, 99-100, 102-104.

Kamper, S.L. y Fennema, O.R. 1985 a. Water Vapor Permeability of Edible Bilayer Films. *J. Food Sci.* 49 :1478-1481.

Kaplan, H.J. 1986. Washing, Waxing and Color Adding. En *Fresh Citrus Fruits*. W.F. Wardowski, S. Nagy y W. Grierson, eds., Westport, CT: AVI Publishing Co., pp. 379.

Kester, J.J. y Fennema, O.R. 1986. Edible Films and Coatings. A Review. *Food Technol.* 40: 47-59.

Krochta, J.M., Baldwin, E.A. y Nisperos-Carriedo, M. (eds).1994. *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Technomic Publishing,Co. Basilea, Suiza.

Krochta, J.M. y De Mulder-Johnston C. 1997. Edible and Biodegradable Polymer Films: Challenges and Opportunities. *Food Technol.* 51(2): 61-74.

Lima, A.M., Cerqueira, M.A., Souza, B.W.S., Santos, E.C.M., Teixeira, J.A., Moreira, R.A., Vicente, A.A. 2010. New edible coatings composed of galactomannans and collagen blends to improve the postharvest quality of fruits-Influence on fruits gas transfer rate. *Journal of Food Engineering*, 97, 101-109.

Maftoonazad, N. y Ramaswamy, H. S. (2005). Postharvest shelf-life extensión of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT-Food Science and Technology*, 38, 617-624.

Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny RC, Baldwin E (2005) Conservación mediante recubrimientos comestibles. En: *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. G González-Aguilar, A Gardea, F Cuamea-Navarro (eds.). pp. 341-356. México: CIAD.

Martin-Polo M, Mauguin C, Volley A (1992) Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. 1. Influence of the film preparation technique. *J. Agric. Food Chem.* 40: 407-412.

Martínez-Romero D, Alburquerque N, Valverde JM, Guillén F, Castillo S, Valero D, Serrano M (2006) Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe Vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biol. Technol.* 39: 93-100.

Maqbool, M., *et al.*, (2010). Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. *Crop Protection*. doi:10.1016/j.cropro.2010.06.005.

Meir, S.; Akerman, M.; Fuchs, Y. and Zauberman, G. (1995). Further studies on the controlled atmosphere storage of avocados. *Postharvest Biology and Technology* 5, 323-330.

Mihaliak, C.A., Gershenzon, J., Croteau, R. 1991. Lack of rapid monoterpene turnover in rooted plants. Implications for theories of plant chemical defense. *Oecologia*, 87, 373-376.

Milda E. Embuscado, Kerry C. Huber, *Edible Films and Coatings for Food Applications*. London New York: Springer , 2009.

MULTICERAS “Cera de Carnauba” [En línea]. Consultado el 12 de marzo de 2011. Disponible en: <http://www.multiceras.com/acweb/index.php?aid=23>

MULTICERAS “Otras aplicaciones” [En línea]. Consultado el 12 de marzo de 2011. Disponible en: disponible en: <http://www.multiceras.com.mx/ap-otras.htm>

McHugh TH, Huxsoll CC, Krochta JM (1996) Permeabilities properties of fruit pure edible films. *Food Sci.* 61: 88-91

McHugh TH, Senesi E (2000) Apple wraps: a novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *J. Food Sci.* 65: 480-485.

Muzzarelli, C., Muzzarelli, R.A.A. 2003. Chitin related food science today (and two centuries ago). *Agro Food Industry Hi-Tech*, 14, 39-42.

Nisperos-Carriedo, M.O., Shaw, P.E. y Baldwin, E.A. 1990. Changes in Volatile Flavor Components of Pineapple and Orange Juice as Influenced by the Application of Lipid and Composite Films. *J. Agric. Food Chem.* 38: 1338-1387.

Nussinovitch, A. y S. Lurie. 1995. Edible Coatings for Fruits and Vegetables. *Postharvest News and Information* 6: 53N-57N.

Olivas GI, Barbosa-Cánovas GV (2005) Edible coating for fresh-cut fruits. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 45: 657-670.

Park H.J., Chinnan M. S. (1995). Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. *J Food Eng.* 25:497-507.

Pastor Navarro Clara. “Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación.” Tesis doctoral. Departamento de tecnología de alimentos. Universidad politécnica de valencia, 2010.

Perez, B, y Baez, R. (2003). Utilizacion de ceras comestibles en la conservacin de frutas. *Alimentaria*, julio-agosto.

QUIMINET “Usos de ceras en productos hortofrutícolas” [En línea]. Consultado el 13 de marzo de 2011 disponible en: [http://www.quiminet.com/ar7/ar\\_vcdhgsAAAsshgsA-el-uso-de-ceras-en-los-productos-hortofruticolas.htm](http://www.quiminet.com/ar7/ar_vcdhgsAAAsshgsA-el-uso-de-ceras-en-los-productos-hortofruticolas.htm)

Quintero Cerón J.; Falguera Pascual V. y Muñoz Hernández J. Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga* (2010), 5, 93-118. Disponible en: <http://revistas.ut.edu.co/index.php/TUMBAGAV/article/viewFile/459/366>

Quintero Salazar Baciliza. “Incorporación de la pediocina producida por *Pediococcus parvulus* MXVK133 en películas y recubrimientos comestibles. Tesis doctoral. División de ciencias biológicas y de la salud.” Universidad Autónoma Metropolitana, unidad iztapalapa. México, 2006.

Ribeiro, C., Vicente A. A., Teixeira J. A., Miranda C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology* (44) 63 – 70.

Rojas Graü Maria A. “Recubrimiento y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación.” Tesis de doctorado.

Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Lleida. España, 2006.

Rojas-Graü, M.A., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. 2009. Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 438-447.

Ruiz Hernandez Fabiola. "Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y murcilago de nopal en fresa (fragaria ananassa) almacenada en refrigeración." Tesis profesional. Departamento de ingeniería química y alimentos. Universidad de las americas puebla. 2009.

Ruiz Ramos Jacqueline O. "Caracterización reológica de emulsiones aceite-en-agua (o/w) estabilizadas con goma de mezquite y quitosano y su efecto en la permeabilidad de películas comestibles." Tesis de doctorado. Departamento de ingeniería de procesos e hidráulica. Universidad Autónoma Metropolitana campus Iztapalapa. México, 2004.

Sagoo, S., Board, R., Roller, S. 2002. Chitosan inhibits growth of spoilage microorganisms in chilled pork. *Food Microbiology*, 19, 175-182.

Sanchez-Gonzales L, M Vargas, C Gonzales-Martinez, M chafer, A Chiralt. "Incorporación de productos naturales en recubrimientos comestibles para la conservación de alimento." VIII Congreso SEAE Bullas, Departamento de Tecnología de Alimentos, Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Valencia, 2008.

Serrano M, Valverde JM, Guillén F, Castillo S, Martínez-Romero D, Valero D (2006) Use of aloe vera gel coating preserves the functional properties of table grapes. *J. Agric. Food Chem.* 54: 3882-3886.

SJ Guanín Guanín Llumiquinga Caizatoa. J.L. "Diseño y construcción de una laminadora estampadora continua para cera de abejas." Tesis de posgrado. Facultad de ingeniería mecánica. Escuela Politecnica Nacional, 2006.

Soliva, R. y Martín, O. (2001). Envasado de alimentos mediante recubrimientos comestibles, *Alimentaria*, septiembre.

Tharanathan, R.N., Kittur, F.S. 2003. Chitin-The undisputed biomolecule of great potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43, 61-87.

Trejo Márquez Ma. A. “aplicación de recubrimientos comestibles.” Taller multidisciplinario de ingeniería en alimentos-procesos tecnológicos de frutas y hortalizas. Facultad de estudios superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.

Tzoumaki, M. V., Biliaderis C. G., Vasilakakis, M. (2009). Impact of edible coatings and packaging on quality of white asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) during cold storage. *Food Chemistry*, 117, 55 – 63.

Valencia-Chamorro, S.A., Pérez-Gago, M.B., del Río, M.A., Palou, L. 2009. Effect of antifungal hydroxypropylmethylcellulose (HPMC)-lipid edible composite coatings on postharvest decay development and quality attributes of cold-stored Valencia oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 54, 72-79.

Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., González-Martínez, C. 2006. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 164-171.

Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., González-Martínez, C. 2009a. Characterization of chitosan-oleic acid composite films. *Food Hydrocolloids*, 23, 536-547.

Willis, R. B. H.; Lee, T. H.; Graham, D.; McGlasson, W. B. and Hall, E. G. (1981). *Postharvest, an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*.

Yaman, O. and Bayoindirli, L. (2002). Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 35, 146-150.

Yang L, Paulson AT (2000) Mechanical and water vapor barrier properties of edible gellan films. *Food Res. Int.* 33: 563-570.

Yu. Hernandez Perla A. "Efecto de la mezcla de plastificantes en las propiedades físicas, mecánicas y de transporte de películas de quitosano." Tesis profesional. Departamento de ingeniería química y alimentos. Universidad de las Américas Puebla, 2004.

Zhang D, Quantick PC (1998) Antifungal effects of chitosan coating on fresh strawberries and raspberries during storage. *J. Horticult. Sci. Biotechnol.* 73: 763-767.