



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**ESTUDIO SOBRE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES  
UTILIZADAS EN LA CONSERVACIÓN EN FRESCO DE PRODUCTOS  
HORTOFRUTÍCOLAS: MATERIALES, PROPIEDADES Y PERSPECTIVAS  
DE APLICACIÓN.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:  
NOHEMI CASTILLO ACUÑA

ASESORA:  
DRA. MARÍA ANDREA TREJO MÁRQUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO.

2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIAS

La presente tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

A Dios, por brindarme la oportunidad y la dicha de la vida.

Con mucho cariño, principalmente a mis padres, que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento apoyándome y aconsejándome, no importa que estemos lejos, les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis, los amo.

A mis hermanos, Eli y Manuel por su tenacidad y superación... por ellos y para ellos. Gracias por ser tan excelentes personas, acompañarme y siempre estar pendiente uno del otro, por hacerme reír y escucharme; el esfuerzo de estar lejos de nuestra casa ha valido la pena.

A mi cuñada Xóchitl por formar parte de la familia y por habernos cambiado la vida con la llegada del yuyui.

También dedico este proyecto a mi novio, Adolfo, representaste gran amor y tesón en momentos de decline y cansancio. Te amo.

Agradezco a la Dra. Andrea Trejo por haber confiado en mi persona, por la paciencia y por la dirección de este trabajo, por los consejos, el apoyo y el ánimo que me brindó. A mis sinodales por la atenta lectura de este trabajo, por sus comentarios y sus atinadas correcciones.

A mis grandes amigas Carmen, Jessy, Clau, Marlen, Adris, Viry, Anabel que me permitieron entrar en su vida y convivir dentro y fuera del salón de clases. A mis compañeros de la generación 26. A José Luis y Anallely, mis amigos y compañeros de trabajo, gracias por sus ánimos y buena vibra.

A Mariana, mi gran amiga de toda la vida, gracias por tus consejos, apoyo y momentos inolvidables, gracias por todo.

## DEDICATORIAS

“El sabio no dice nunca todo lo que piensa, pero siempre piensa todo lo que dice”

Aristóteles.

---

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>	1
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>OBJETIVOS</b>	5
<b>CUADRO METODOLÓGICO</b>	6
<b>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES</b>	7
1.1 Definición	7
1.2 Historia	8
1.3 Beneficio del uso de películas y recubrimientos comestibles	9
1.4 Funciones	9
1.5 Aplicaciones de las películas y recubrimientos comestibles	12
<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES UTILIZADOS COMO PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES</b>	13
2.1 Componentes de las películas comestibles	13
2.1.1 Películas a base de proteínas	13
2.1.1.1 Gelatina	14
2.1.1.2 Colágeno	15
2.1.1.3 Zeína	16
2.1.1.4 Proteínas de la leche	17
2.1.1.4.1 Caseína	18
2.1.1.4.2 Proteínas del suero de leche	18
2.1.1.5 Aislados de proteína de soya	20
2.1.2 Ejemplos de propiedades sensoriales y físicas de películas comestibles a base de proteínas	22
2.1.3 Películas a base de polisacáridos	22
2.1.3.1 Alginatos	24
2.1.3.2 Pectina	25
2.1.3.3 Carragenina	27
2.1.3.4 Almidón	29
2.1.3.4.1 Dextrina	31
2.1.3.5 Celulosa y derivados	32
2.1.3.6 Quitosán	35
2.1.4 Ejemplos de propiedades sensoriales y físicas de películas a base	39

---

de carbohidratos	
2.1.5 Películas con lípidos y a base de lípidos	39
2.1.5.1 Ceras	41
2.1.5.1.1 Tipos de ceras	43
2.1.5.1.2 Aplicación de las ceras	45
2.1.6 Películas y recubrimientos por materiales compuestos	46
2.1.7 Aditivos	49
2.1.7.1 Plastificantes	49
2.1.7.2 Surfactantes y emulsificantes	51
2.1.7.2.1 Monoglicéridos	52
2.1.7.3 Agentes antimicrobianos	53
2.1.7.4 Antioxidantes	58
<b>3. TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS</b>	<b>59</b>
<b>COMESTIBLES</b>	
3.1 Proceso de formación de películas y recubrimientos	59
3.2 Técnicas de aplicación	61
<b>4. PROPIEDADES DE LAS PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS</b>	<b>65</b>
<b>COMESTIBLES</b>	
4.1 Propiedades físicas de recubrimientos comestibles	65
4.1.1 Color	65
4.1.2 Viscosidad	65
4.1.3 Punto de fusión	66
4.1.4 Absorción de agua	67
4.1.5 Grado de hinchamiento	67
4.1.6 Técnicas para la evaluación de las propiedades físicas	68
4.1.6.1 Color	68
4.1.6.2 Medición de la viscosidad	69
4.1.6.3 Punto de fusión	69
4.1.6.4 Absorción de agua	70
4.1.6.5 Grado de hinchamiento	71
4.2 Propiedades de transporte de las películas y recubrimientos comestibles	71
4.2.1 Permeabilidad al vapor de agua	72
4.2.1.1 Efecto del espesor de las películas y recubrimientos comestibles	75
sobre la permeabilidad al vapor de agua	
4.2.2 Permeabilidad al oxígeno	75

---

4.2.3 Permeabilidad al etileno	76
4.2.4 Permeabilidad al CO <sub>2</sub>	77
4.2.5 Técnicas para la evaluación de las propiedades de transporte	78
4.2.5.1 Permeabilidad al vapor de agua	78
4.2.5.1.1 Técnicas experimentales. Métodos volumétricos	79
4.2.5.1.2 Técnicas experimentales. Métodos gravimétricos	80
4.2.5.1.3 Modelos de corrección de permeabilidad al vapor de agua	83
para películas hidrofílicas	
4.2.5.2 Permeabilidad al oxígeno	87
4.2.5.3 Permeabilidad al etileno	89
4.2.5.4 Permeabilidad al CO <sub>2</sub>	90
4.3 Propiedades mecánicas de las películas comestibles	91
4.3.1 Porcentaje de elongación, fuerza de tensión y esfuerzo tensil en la ruptura	91
4.3.2 Elasticidad y módulo de elasticidad	92
4.3.3 Factores que afectan las propiedades mecánicas	92
4.3.4 Técnicas para la evaluación de las propiedades mecánicas	93
<b>5. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN FRUTAS Y HORTALIZAS</b>	<b>98</b>
5.1 Efecto en la respiración	98
5.2 Efecto en la transpiración	99
5.3 Efecto en el control de las pudriciones y deterioro	100
5.4 Efecto en el control de fisiopatías	100
5.5 Efecto en la calidad	100
5.6 Efecto en las características sensoriales	103
<b>6. PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE EN LA CONSERVACIÓN DEL AGUACATE 'HASS' EN MÉXICO.</b>	<b>105</b>
6.1 Descripción del aguacate 'Hass'	107
6.2 Cambios fisiológicos y bioquímicos asociados a la maduración del aguacate	108
6.3 Temperatura y humedad relativa óptimas de almacenamiento del aguacate	112
6.4 Principales pérdidas postcosecha en aguacate	113
6.4.1 Daños mecánicos	113

---

6.4.1.1 Desordenes fisiológicos	114
6.4.2 Enfermedades más comunes del aguacate	115
6.4.2.1 Importancia de la antracnosis	115
6.5 Aplicación de un recubrimiento comestible combinado en aguacate 'Hass' para alargar su vida útil	116
6.6 Condicionantes legales relativos al uso de envases comestibles	121
6.7 Beneficios y limitaciones de la aplicación de recubrimientos	124
<b>CONCLUSIONES</b>	125
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	127

---

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Página</b>
Figura 1. La hélice de colágeno	15
Figura 2. Ácido algínico	24
Figura 3. Estructura química de la pectina	25
Figura 4. Pectina de alto metoxilo	26
Figura 5. Pectina de bajo metoxilo	26
Figura 6. Estructura de las carrageninas	28
Figura 7. Estructura química de la amilosa y la amilopectina	29
Figura 8. Estructura química de la dextrina	31
Figura 9. Estructura química de la celulosa	33
Figura 10. Estructura química de la quitina	35
Figura 11. Estructura química del quitosán	36
Figura 12. Estructura química general de un monoglicérido	53
Figura 13. Equipo de inmersión para frutas y vegetales	62
Figura 14. Aplicación de recubrimientos comestibles por aspersion	63
Figura 15. Método de frotación	64
Figura 16. Espectrofotómetro	68
Figura 17. Fisher-Johns	70
Figura 18. Tubo de Thiele	70
Figura 19. Determinación de la capacidad de retención de agua por centrifugación	71
Figura 20. Flujo de gas vs. tiempo	80
Figura 21. Determinación de WVTR	81
Figura 22. Cámara de prueba	84
Figura 23. Celda de difusión para medir la permeabilidad de etileno de las películas comestibles	89
Figura 24. Volumen de producción de aguacate 'Hass' en México	106
Figura 25. Circuito de Comercialización del aguacate en México	107
Figura 26. Aguacate variedad 'Hass'	108
Figura 27. Patrón respiratorio del aguacate	110
Figura 28. Lesiones en fruto de aguacate por antracnosis	116
Figura 29. Diagrama de bloques propuesto para la aplicación del recubrimiento en aguacate fresco	119

---

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Página</b>
Tabla 1. Funciones y propiedades de las películas comestibles	10
Tabla 2. Películas y envolturas comestibles: ventajas y condiciones requeridas	11
Tabla 3. Aplicaciones de películas comestibles	12
Tabla 4. Películas comestibles a base de proteínas, aplicaciones y funciones (grano de zeína)	17
Tabla 5. Películas comestibles a base de proteínas, aplicaciones y funciones (proteínas de la leche)	20
Tabla 6. Formulación y características de las películas proteicas	23
Tabla 7. Películas comestibles a base de polisacáridos, aplicaciones y funciones (alginato)	25
Tabla 8. Estructuras y propiedades funcionales de la carragenina	28
Tabla 9. Películas comestibles a base de polisacáridos, aplicaciones y funciones (almidones y derivados)	32
Tabla 10. Películas comestibles a base de polisacáridos, aplicaciones y funciones (CMC, MC)	35
Tabla 11. Propiedades del quitosán	37
Tabla 12. Películas comestibles a base de polisacáridos, aplicaciones y funciones (quitosán)	38
Tabla 13. Formulación y características de películas con base de carbohidratos	39
Tabla 14. Propósitos de aplicación y factores a considerar para la efectividad del uso de recubrimientos a base de ceras en la calidad de cítricos	43
Tabla 15. Películas comestibles a base de lípidos, aplicaciones y funciones (ceras)	46
Tabla 16. Recubrimientos por materiales compuestos utilizados en frutas y hortalizas frescos	48
Tabla 17. Tipos de emulsificantes empleados en la elaboración de películas comestibles	52
Tabla 18. Antimicrobianos en envases comestibles y biodegradables	55
Tabla 19. Antimicrobianos aplicados en frutas frescas enteras y rebanadas	57
Tabla 20. Efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles sobre la	

---

permeabilidad al vapor de agua	75
Tabla 21. Efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles sobre la permeabilidad al etileno	77
Tabla 22. Resumen de las propiedades de barrera al vapor de agua de películas elaboradas a partir de polisacáridos	85
Tabla 23. Propiedades de barrera al vapor de agua de películas elaboradas a base de proteínas	86
Tabla 24. Coeficiente de transmisión y permeabilidad al vapor de agua de algunas películas comestibles a base de ceras	86
Tabla 25. Valores de WVP de películas hidrofílicas corregidas por los métodos de McHugh y Krochta	87
Tabla 26. Permeabilidades de O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y vapor de agua de películas comestibles y películas plásticas	90
Tabla 27. Propiedades mecánicas de algunas películas comestibles	96
Tabla 28. Propiedades mecánicas de películas hidrofílicas a base de proteínas	97
Tabla 29. Resumen de las propiedades mecánicas de películas sintéticas adicionadas de diferentes biopolímeros	97
Tabla 30. Tasa de respiración del aguacate	110
Tabla 31. Clasificación de algunos productos hortofrutícolas según su ritmo de respiración	110
Tabla 32. Clasificación de algunas frutas según su producción de etileno	111
Tabla 33. Cambios fisicoquímicos durante la maduración del aguacate	112
Tabla 34. Enfermedades más comunes del aguacate	115
Tabla 35. Formulación propuesta para la elaboración del recubrimiento comestible para aguacate fresco	120
Tabla 36. Equipos propuestos para el proceso de la aplicación del recubrimiento comestible en aguacate	122

---

**SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS**

Cuando en esta tesis se haga referencia a los siguientes símbolos y abreviaturas se entiende por:

\$/lb	Precio por libra
%E	Porcentaje de elongación
%R	Porcentaje de reflectancia
1 mil	Una milésima
a*	Eje a (rojo-verde)
AA	Ácido ascórbico
AC	Ácido cítrico
AE	Ácido esteárico
AH	Albúmina de huevo
AM	Monoglicérido acetilado
AO	Ácido oxálico
APV	Alcohol polivinílico
AS	Alginato de sodio
Aw	Actividad de agua
b*	Eje b (azul-amarillo)
C	Gradiente de concentración en dirección al flujo
C16	Ácido palmítico
C18	Ácido esteárico
C <sub>2</sub>	Concentración dos
CaCl <sub>2</sub>	Cloruro de calcio
CM	Celulosa microcristalina
CMC	Carboximetilcelulosa
CMI	Concentración mínima inhibitoria
CPS	Concentrado de proteína de suero lácteo
CS	Caseinato de sodio
CU	Concentración utilizada
D	Coefficiente de difusión de moléculas
d	Día
DL <sub>50</sub>	Dosis letal cincuenta
dm/dt	Cantidad de moléculas del permeante que pasan por unidad de tiempo
EAA	Ácido etilen acrílico

---

EDTA	Ácido etilen diaminotetraacético
ET	Esfuerzo tensil
etOH	Etanol
ETR	Esfuerzo tensil en la ruptura
exp	Exponente decimal
f	Femto ( $10^{-15}$ )
FA	Mezcla de ácido palmítico (PA), ácido esteárico (SA)
FDA	Food and Drug Administration
G	Ácido galurónico
GA	Glicéridos acetilados
GM	Goma de mezquite
GRAS	Generalmente Reconocidos Como Seguros
GT	Gluten de trigo
HCl	Ácido clorhídrico
HEC	Hidroxietilcelulosa
HPC (L)	Hidroxipropilcelulosa con bajo nivel de plastificante
HPMC	hidroxipropilmetilcelulosa
in	Pulgada
in <sup>2</sup>	Pulgada cuadrada
ISP	Aislado de proteína de soya
J	Cantidad de soluto trasportado por unidad de superficie permeada por unidad de tiempo
KCG	Kappa carragenina
kgmol	Kilogramo mol
kPa	Kilo pascales
L*	Eje L (luminosidad)
LLDPE	Polietileno de baja densidad lineal
LDPE	Polietileno de baja densidad
ln	Logaritmo natural
log <sub>10</sub>	Logaritmo en base 10
M	Ácido manurónico
MA	Ácido metacrílico
mbar	Milibar
MC	Metilcelulosa
MC (L)	Metilcelulosa con bajo poder de plastificante

## SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

---

ME	Módulo de elasticidad
MGA	Monoesterato de glicerilo acetilado
MGA	Monoglicérido acetilado
mmol	milimoles
MPa	Megapascales
n	Nano ( $10^{-9}$ )
N	Normalidad
NaClO	Hipoclorito de sodio
NaOH	Hidróxido de sodio
NC-W	Nitrocelulosa-cera
N-cys	N-acetilcisteína
nm	Nanómetros
OP	Permeabilidad al oxígeno
PA	Ácido palmítico
PAS	Proteína aislada de soya
$p_{A1}-p_{A2}$	Gradiente de presiones parciales en ambos lados de la película
$P_{app}$	Permeabilidad aparente
PE	Polietileno
PET	Tereftalato de polietileno
PEG	Polietilenglicol
perm	Permeanza
PF	Punto de fusión
pH	Potencial de hidrógeno
Pint	Presión interna
pm	Peso molecular
PP	Polipropileno
PS	Proteína de suero
psi	Libra/ pulgada cuadrada
$p_{v1}$	Presión de vapor de agua pura
PVC	Cloruro de polivinilo
PVOH	Alcohol polivinílico
Q	Cantidad de gas difundido a través de la película
r	Coefficiente de correlación
rpm	Revoluciones por minuto
S	Coefficiente de solubilidad

---

S	Sorbitol
-SH	Grupos sulfhidrilo
SO <sub>2</sub>	Óxido de azufre
SP	Sorbato de potasio
sp.	Todas las especies
SPE	Poliéster de sucrosa
S-S	Grupos disulfuro
TS	Fuerza de tensión
UE	Unión europea
ufc/g	Unidades formadoras de colonias por gramo
W	Grado de hinchamiento
WIC	Capacidad de absorción de agua
W <sub>0</sub>	Peso inicial del polímero
WPI	Aislado de proteína de suero
W <sub>t</sub>	Peso del polímero hinchado
WVP	Permeabilidad al vapor de agua
WVTR	Velocidad de la transmisión del vapor de agua
WVP <sub>c</sub>	Permeabilidad al vapor de agua corregida
x	Espesor
z	Altura
α-La	Alfa-lactalbúmina
β-Lg	Beta-lactoglobulina
ΔP	Diferencia de presión parcial del gas a través de la película
ΔQ/Δt	Variación del flujo volumétrico con respecto al tiempo
μm	Micrómetro
θ	Tiempo

---

**RESUMEN**

Actualmente el consumidor demanda productos de alta calidad y de consumo inmediato, que contengan sólo ingredientes naturales. Es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías de conservación que retrasen los procesos de deterioro y mantengan la calidad e inocuidad microbiológica, durante la comercialización de estos productos.

El objetivo del presente trabajo es realizar un estudio bibliográfico sobre materiales utilizados como películas y recubrimientos comestibles, así como establecer los factores que afectan sus propiedades físicas, mecánicas y de transporte, para realizar una propuesta tecnológica de su aplicación en la conservación en fresco de aguacate que es de importancia económica en México.

En los capítulos 1 y 2 se exponen las principales consideraciones para la formulación, formación y caracterización de recubrimientos comestibles empleando como ingredientes principales proteínas, polisacáridos y lípidos, ya sea como componentes únicos o combinados para desarrollar películas compuestas con las que se pretende crear una atmósfera modificada en el interior del fruto para retardar el proceso de maduración y senescencia de una forma similar a la de una atmósfera controlada que es mucho más costosa. La eficiencia de una película comestible depende en gran medida de la naturaleza de los componentes, su composición y estructura, por lo tanto, se revisa la elección de las sustancias formadoras de la película y/o aditivos activos.

El propósito del capítulo 3 es dar a conocer las técnicas de aplicación de películas comestibles, se resumen las técnicas de formación y métodos de aplicación. Se hace hincapié en la información publicada en la literatura científica de los resultados de las aplicaciones de éstas películas.

En el capítulo 4 se exponen las propiedades físicas de las películas comestibles: color, viscosidad, punto de fusión, absorción de agua, grado de hinchamiento; propiedades de transporte: permeabilidad al vapor de agua, oxígeno, etileno y dióxido de carbono; propiedades mecánicas: porcentaje de elongación y fuerza de tensión, elasticidad, esfuerzo tensil en la ruptura. Se exponen también las técnicas para la evaluación de dichas propiedades.

---

En el interior de los envases se producirán una actividad respiratoria elevada y otros procesos metabólicos asociados con la maduración y senescencia, por lo que en el capítulo 5 se resume los efectos de la aplicación de películas y recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas en fresco en la respiración, transpiración, control de las pudriciones y deterioro, control de fisiopatías, parámetros de calidad y en las propiedades sensoriales.

En el capítulo 6 se propone la aplicación de un recubrimiento comestible aplicado a aguacate fresco que es un producto de alto consumo y de importancia económica en México.

El empleo de películas y recubrimientos comestibles constituye una interesante oportunidad para mejorar la calidad, estabilidad y salubridad de muchas frutas y hortalizas en México, sin embargo, debido a las limitadas prestaciones de estos envases comestibles, con frecuencia es necesario limitar su uso a una única aplicación elegida en función de la naturaleza del alimento y de su primer modo de deterioro.

---

### INTRODUCCIÓN

La constante demanda de frutas frescas y la exigente regulación fitosanitaria de organismos tanto nacionales como internacionales, hacen que sea necesario el estudio de tratamientos superficiales, para prolongar la vida de almacenamiento poscosecha de frutas y hortalizas, ya que las mayores pérdidas en la producción hortofrutícola ocurren en esta etapa (Guzmán, 2003). En los últimos años se han investigado intensamente diversos temas relacionados con nuevos materiales utilizados como formadores de películas y recubrimientos comestibles debido a la creciente demanda por parte de los consumidores de alimentos de calidad, saludables y seguros (Bosquez *et al.*, 2000).

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 biodegradables para el empaque y distribución de alimentos. 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 plásticos actuales (Park, 1999).

Las películas o empaque comestibles y biodegradables de frutos es una práctica muy antigua, con la cual se trataba de imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997). Las cubiertas han sido empleadas como método de preservación a lo largo de la historia, tales como las cubiertas de frutos con ceras, la carne con grasa y dulces con azúcar o chocolate. Las películas comestibles y/o biodegradables no siempre reemplazan los empaques sintéticos, sino que racionalizan su utilización, además prolongan el estado de frescura de frutos y vegetales y el tiempo de vida útil de los alimentos y mejoran la eficiencia económica de los materiales de empaque. Los recubrimientos comestibles presentan la ventaja de poder aplicarse a todo tipo de frutas (Guilbert y Biquet, 2005). Son una tecnología poscosecha que no requiere instalaciones sofisticadas, por lo que su aplicación también es viable en países en vías de desarrollo, sin embargo, el potencial de los recubrimientos comestibles en poscosecha no está del todo explorado, siendo pocas las aplicaciones industriales desarrolladas (Navarro, 2007).

Las películas comestibles pueden emplearse como barrera a gases y vapor de agua aplicándose sobre el producto o dentro del alimento. En el caso de la aplicación sobre frutos, la función es

---

restringir la pérdida de humedad o reducir la absorción de oxígeno logrando con esto reducir la actividad respiratoria (Kester y Fennema, 1986).

Krochta *et al.* (1994) clasificaron a los componentes de las películas comestibles en tres categorías: lípidos, hidrocoloides y mezclas. Los hidrocoloides incluyen: proteínas, derivada de la celulosa, alginatos, pectinas, almidones y otros polisacáridos. Los lípidos incluyen: ceras, acilgliceroles y ácidos grasos y las mezclas que contienen componentes lipídicos e hidrocoloides. Los autores mencionan que dependiendo del tipo de componente dependerán las propiedades de cada película.

Las películas comestibles son útiles ya que pueden mantener la integridad y calidad de los alimentos durante procesos, transporte y manejo. Las características mecánicas de las películas deben ser suficientemente buenas para mantener la integridad a lo largo de su producción y prácticas de manejo, dado que las fracturas pueden destruir las propiedades de barrera (Chen, 1995).

---

**OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio bibliohemerográfico sobre materiales utilizados como películas y recubrimientos comestibles, así como establecer los factores que afectan sus propiedades físicas, mecánicas y de transporte, para realizar una propuesta tecnológica de su aplicación en la conservación en fresco del aguacate 'Hass' que es de importancia económica en México.

**OBJETIVO PARTICULAR 1**

Reunir información técnica sobre los diferentes materiales utilizados como películas y recubrimientos comestibles y establecer sus características para su aplicación en la conservación de frutos y hortalizas.

**OBJETIVO PARTICULAR 2**

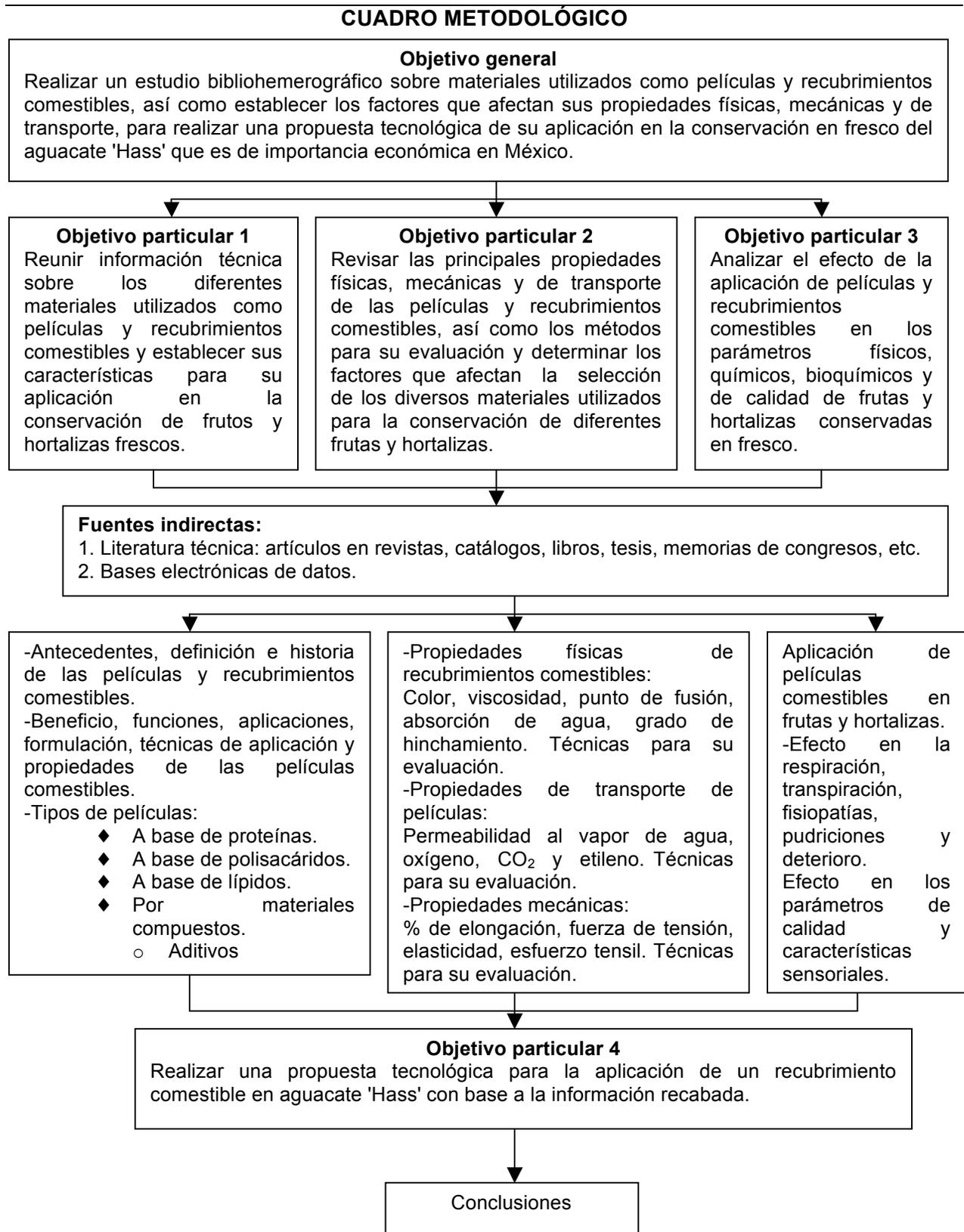
Revisar las principales propiedades físicas, mecánicas y de transporte de las películas y recubrimientos comestibles, así como los métodos para su evaluación y determinar los factores que afectan la selección de los diversos materiales utilizados para la conservación de diferentes frutas y hortalizas.

**OBJETIVO PARTICULAR 3**

Analizar el efecto de la aplicación de películas y recubrimientos comestibles en los parámetros físicos, químicos, bioquímicos y de calidad de frutas y hortalizas conservadas en fresco.

**OBJETIVO PARTICULAR 4**

Realizar una propuesta tecnológica para la aplicación de un recubrimiento comestible en aguacate 'Hass' con base a la información recabada.



---

**1. ANTECEDENTES DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES**

**1.1. Definición**

Las *películas* son estructuras de un polímero que se forman independientemente del material en que se aplican. 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. 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, las cubiertas llegan a ser parte del producto y permanecen en el mismo durante su uso y consumo (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997).

La diferencia entre las películas y cubiertas consiste en que, en general, las películas son preformadas y las cubiertas se forman directamente sobre los productos en los que se aplican (Bosques *et al.*, 2000). Las películas y cubiertas pueden ser comestibles, o simplemente biodegradables (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997).

*Las cubiertas y películas comestibles* se definen como una capa delgada del material comestible, formada en un alimento o una capa colocada entre componentes del alimento ó capas delgadas preparadas a partir de material comestible que actúan como una barrera a los elementos externos (factores como humedad, aceite, vapor), y de esta manera, protegen al producto y prolongan su vida de anaquel (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997).

El propósito de las películas y recubrimientos es inhibir la migración de la humedad, el oxígeno, el dióxido de carbono, de aromas y lípidos o como vehículo de ingredientes tales como antioxidantes, antimicrobianos, sabores y/o mejorar la integridad o las características de manejo del alimento (Kester y Fennema, 1986). El principal beneficio de las cubiertas comestibles es que pueden consumirse con el alimento, proveer de nutrientes adicionales, mejorar las características sensoriales e incluir antimicrobianos que conservan la calidad (Guilbert y Biquet, 1996).

*Las películas y cubiertas biodegradables* pueden funcionar como barreras a la humedad, al oxígeno, sabor, aroma y/o proteger del medio ambiente la calidad del alimento y otros productos. En contraste con las películas y cubiertas comestibles, la intención de una película o cubierta

biodegradable, generalmente es reemplazar totalmente el empaque u otro producto sintético convencional (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997).

Un empaque comestible y biodegradable se define como una capa delgada de material formada sobre el alimento como una cubierta o colocada sobre el alimento (preformado), o entre los componentes del alimento, además es comestible y biodegradable (Krochta, 1997).

### **1.2. Historia**

La aplicación de las películas comestibles para la protección de los alimentos con el fin de prolongar su vida de anaquel no es nada nuevo. Los recubrimientos de naranjas y limones con ceras para retardar su desecación fue practicada en China desde los siglos XII y XIII (Hardenburg, 1967).

Las películas o empaque comestibles y biodegradables de frutos es una práctica muy antigua, con la cual se trataba de imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales (Krochta, 1997). Las cubiertas han sido empleadas como método de preservación a lo largo de la historia, tales como las cubiertas de frutos con ceras, la carne con grasa y dulces con azúcar o chocolate (Debeaufort y Voilley, 1994).

Unos ejemplos son la protección de los cortes de carne contra desecación y cambios gaseosos con revestimientos de grasa (que ha sido practicado en Europa desde el siglo XVI) y de algunos productos de bollería con azúcar (Guilbert, 1986).

Durante el siglo XVI se practicaba en Inglaterra el “enmantecado”, esto es, el recubrimiento con grasa de productos alimenticios para prevenir la pérdida de humedad de éstos (Labuza y Contreras-Medellín, 1981). En el siglo XIX se emplearon películas a base de gelatina para la preservación de carne y otros alimentos, alrededor de los años 30’s ya se encontraban comercialmente disponibles ceras parafínicas que se derretían con calor para el recubrimiento de cítricos, y en los comienzos de los años 50’s se desarrollaron emulsiones aceite-agua con cera de carnauba para el recubrimiento de frutas y hortalizas frescas (Kaplan, 1986). Durante los años 50 y 60 aparecen formulaciones a base de resinas y ceras que además tienen el objetivo de aportar brillo “ceras comerciales”.

En los últimos cuarenta años se han llevado a cabo numerosos trabajos acerca de la puesta a punto y utilización de películas o envolturas comestibles para mejorar la conservación y calidad de diversos alimentos frescos, transformados o congelados. Algunas prácticas se han ido generalizando, por ejemplo, el recubrimiento en la fruta con películas de parafina o de cera (Guilbert, 1986).

### **1.3. Beneficio del uso de películas y recubrimientos comestibles**

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. 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. 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 (Park, 1999).

El mecanismo por el cual estas películas conservan la calidad de frutas y vegetales es debido a que crean una barrera a los gases, produciendo una atmósfera modificada alrededor del producto. Esta atmósfera reduce la disponibilidad de O<sub>2</sub> e incrementa la concentración de CO<sub>2</sub> (Smith *et al.*, 1987). De tal forma, se reduce la tasa de respiración y la pérdida de agua, aumentando así, la vida de anaquel (Kester y Fennema, 1986).

### **1.4. Funciones**

Kester y Fennema (1986) mencionan que las películas comestibles no están diseñadas con la finalidad de reemplazar los materiales de empaques sintéticos ni a las películas no comestibles, dicen que la importancia de las películas comestibles recae en la capacidad de actuar como un conjunto para mejorar la calidad del alimento en general, extender el tiempo de vida de anaquel y mejorar la eficacia económica de los materiales para empaquetamiento.

Su propósito es inhibir la migración de la humedad, del oxígeno, del dióxido de carbono, de aromas y lípidos o como acarreador de ingredientes tales como antioxidantes, antimicrobianos, sabores y mejorar la integridad o las características de manejo del alimento (Krochta, 1997).

En muchas aplicaciones de los alimentos, la función más importante de las películas comestibles es la reducción de la pérdida de humedad, debido a que se deben de mantener ciertos niveles de  $A_w$  ya que es un factor de suma importancia en la calidad y seguridad del alimento (Labuza y Contreras-Medellín, 1981).

Para la protección de un alimento oxidable es necesaria, por ejemplo, una película con buenas propiedades de barrera al oxígeno, aunque por el contrario para la envoltura de frutas y verduras frescas será necesaria una cierta permeabilidad al oxígeno y sobre todo al anhídrido carbónico (Guilbert, 1986).

1. Olivas *et al.*, (2005) (citado por Rojas *et al.*, 2007), señalaron que los recubrimientos comestibles deben de cumplir una serie de requerimientos para poder ser empleados en frutas cortadas, entre los que se encuentran: estar constituidos por sustancias GRAS (generalmente reconocidos como seguros), ser estables bajo condiciones de alta humedad relativa, ser una buena barrera al vapor de agua, al oxígeno y al dióxido de carbono, presentar buenas propiedades mecánicas y de adhesión a la fruta, ser sensorialmente aceptables, ser estable tanto desde el punto de vista físico-químico como microbiológico, además de poseer un costo razonable. En la tabla 1 se muestran algunas de las funciones que desempeñan las películas comestibles aplicadas a los alimentos frescos.

Tabla 1. Funciones y propiedades de las películas comestibles

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Reducir la pérdida de humedad.</li><li>• Reducir el transporte de gases (<math>O_2</math> y <math>CO_2</math>).</li><li>• Reducir la migración de grasas y aceites.</li><li>• Reducir el transporte de solutos.</li><li>• Mejorar las propiedades mecánicas y de manejo de los alimentos.</li><li>• Proveer integridad estructural a los alimentos.</li><li>• Retener componentes volátiles.</li><li>• Contener aditivos.</li></ul> |
|---|

Fuente: Kester y Fennema (1986)

A causa de la doble función de una película, la de embalaje y de constituyente del alimento, las películas y revestimientos comestibles ofrecen numerosas ventajas, aunque también deben cumplir una serie de condiciones que se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Películas y envolturas comestibles: ventajas y condiciones requeridas

<b>VENTAJAS</b>	<b>CONDICIONES REQUERIDAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo directo con el producto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Palatabilidad (solubilidad, dispersabilidad en la boca o durante su preparación).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de embalaje individual de pequeños trozos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buenas propiedades mecánicas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de empleo en el interior del alimento, por ejemplo, entre los distintos componentes de un alimento heterogéneo o de una mezcla.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidad (conservación suficiente).</li> <li>• Tecnología simple.</li> <li>• Ausencia de toxicidad.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora de las propiedades mecánicas, organolépticas, nutricionales y de conservación: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Retardo de la transferencia de agua, gases, grasa y solutos.</li> <li>- Disminución de las pérdidas de sustancias volátiles (aromas).</li> <li>- Manipulación fácil.</li> <li>- Protección frente a contaminantes microbianos u otros, y frente a ciertos agentes externos (H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, etc.).</li> <li>- Agentes de soporte y control de la retención de aditivos (aromas, colorantes, antioxidantes, antimicrobianos).</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composición acorde con la reglamentación relativa a la aplicación alimentaria.</li> <li>• Termosellable y/o buena adhesión a la superficie del alimento.</li> <li>• Funcional en las condiciones de empleo.</li> </ul>

Fuente: Guilbert (1986)

La retención de ciertos aditivos específicos (agentes antifúngicos, antioxidantes, nutrientes, aromas, colorantes, etc.) incorporados a una películas comestible permite obtener un efecto funcional muy localizado (frecuentemente en la superficie del alimento), conservando casi siempre una baja concentración de aditivo (Guilbert, 1986).

**1.5. Aplicaciones de las películas y recubrimientos comestibles**

En la tabla 3 se muestran resumidas las aplicaciones de las películas comestibles en alimentos. La mayoría de las películas no pueden ser utilizadas en productos con  $A_w > 0.94$ , debido a que se degradan o disuelven con el contacto de humedad y pueden perder sus propiedades de barrera, al menos que la utilización de la película sea para una protección de corto tiempo o el alimento se congele inmediatamente (Guilbert, 1986).

Tabla 3. Aplicaciones de películas comestibles

<b>Propósito</b>	<b>Aplicaciones</b>
Proveer una protección individual contra la humedad y el oxígeno.	Pescado fresco, queso, carne y derivados, botana.
Retardar el crecimiento microbiano externo.	Alimentos de humedad intermedia.
Controlar el balance de humedad dentro de un alimento heterogéneo.	Pizzas, pays, sándwiches, pasteles.
Mejorar las propiedades mecánicas.	Cacahuates, camarones, botana, jaiba.
Proveer integridad estructural para reforzar la estructura del alimento.	Carne, pescado, alimentos liofilizados.
Restringir la migración de humedad.	Frutas, horneados, congeladas
Proteger las piezas que estarán dentro de tazas o bolsas.	Quesos, helados.
Proteger las superficies o el empackado de la absorción de grasa.	Cubos de queso, fruta seca, botana, congelados,
Mejorar la apariencia del alimento, añadiéndole brillo.	Productos de panificación, frutas frescas, botanas.
Impartir o mejorar sabor, color y palatabilidad.	Alimentos diversos.

Fuente: Guilbert (1986)

---

**2. MATERIALES UTILIZADOS COMO PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES**

**2.1. Componentes de las películas comestibles**

En 1994 Krochta y colaboradores clasifican a los componentes de las películas comestibles en tres categorías: hidrocoloides, lípidos y mezclas. Los hidrocoloides incluyen proteínas, derivados de la celulosa, alginatos, pectinas, almidones y otros polisacáridos. Los lípidos incluyen ceras, acilgliceroles y ácidos grasos y las mezclas que contienen componentes lipídicos e hidrocoloides. Los autores mencionan que dependiendo del tipo de componente dependerán las propiedades de cada película.

**2.1.1. Películas a base de proteínas**

Las películas proteicas pueden obtenerse con relativa facilidad de recursos tanto animales como vegetales, además pueden añadir cierto valor nutricional al alimento además de protegerlo. Por el contrario, uno de sus principales inconvenientes es que se degradan mucho más fácil que otros tipos de materiales poliméricos (Bureau y Multon, 1985).

Los materiales a base de proteínas consisten en redes macromoleculares continuas, de baja humedad y más o menos ordenadas. Las interacciones entre proteínas necesitan ser numerosas y uniformes. La probabilidad de formación de enlaces intermoleculares depende de la forma de la proteína y de las condiciones de proceso. Proteínas de altos pesos moleculares y proteínas fibrosas generalmente forman películas con buenas propiedades mecánicas. Mientras que las proteínas globulares y pseudo globulares usualmente necesitan desdoblarse antes de la formación de la red (McHugh y Krochta, 1994).

Muchos materiales a base de proteínas han sido probados, estos incluyen: gelatina, colágeno, zeína de maíz, caseína, proteína de suero de leche, gluten de trigo, soya (Brandenburg *et al.*, 1993). Las películas de proteína son excelentes barreras a gases y pobres barreras a la humedad y plastificadas también exhiben buenas propiedades mecánicas (McHugh y Krochta, 1994).

Las películas de proteínas se adhieren fácilmente a superficies hidrofílicas pero en la mayoría de los casos no son resistentes a la difusión del agua (Baldwin, 1994); sin embargo, el entrecruzamiento de estas proteínas con ácido láctico, ácido tánico o iones calcio ha demostrado

incrementar la resistencia al transporte de gas y vapor de agua (Kumins, 1965). Otra desventaja de las películas de proteínas es su sensibilidad a los cambios de pH, por lo que deben delimitarse a las condiciones óptimas de su formación (Baldwin, 1994).

La formación de una red macromolecular proteica requiere de tres pasos: 1) la ruptura de enlaces intermoleculares de baja energía que estabilizan a los polímeros en su estado nativo, 2) reordenamiento y orientación de las cadenas poliméricas, y 3) la formación de una estructura tridimensional estabilizada por nuevas interacciones y enlaces después de la remoción del solvente (Cuq *et al.*, 1998).

### **2.1.1.1. Gelatina**

La gelatina se obtiene a partir del colágeno, mediante hidrólisis ácida o alcalina (Fennema, 2000). Está compuesta de 18 clases de aminoácidos entrelazados por enlaces peptídicos, para producir una molécula ramificada larga, con guanidina expuesta (básica) y grupos carboxílicos (ácidos) (Deasy, 1984).

La gelatina es un producto prácticamente insípido, inodoro e incoloro aunque tiende a un color pardo anaranjado la de menor calidad y además depende de la materia prima y de la extracción de la cual provienen, su densidad relativa oscila de 1.3 a 1.4 Kg/l es insoluble en agua fría sólo se dispersa cuando el agua se calienta a 71.11 °C y es soluble en polialcoholes y propilenglicol e insoluble en solventes orgánicos como benceno, acetona, éter y tetracloruro de carbono (Ockerman y Hansen, 2000). La solubilidad de la gelatina en el agua es muy buena sobre todo a concentraciones inferiores al 10%.

La gelificación de esta proteína es independiente del pH y no necesita la presencia de otros reactivos (cationes, glúcidos, etc.), el mecanismo de la gelificación de la gelatina se explica por la formación de una red tridimensional. Las uniones entre las macromoléculas son debidas esencialmente a interacciones electrostáticas o a enlaces hidrógeno (Fennema, 2000).

Los geles de gelatina, obtenidos por enfriamiento de la gelatina en solución acuosa, dan mediante secado películas resistentes, claras y transparentes, aunque es necesario el empleo de plastificantes para limitar su ruptura (Guilbert, 1986). Se ha observado que las películas de gelatina reducen la permeabilidad al oxígeno pero tienen malas propiedades de barrera frente a la humedad, lo que hace que su uso haya quedado bastante limitado a la microencapsulación de

aromas y alimentos de baja humedad o alta composición lipídica. Por lo que, algunos autores concluyen que el uso de este tipo de recubrimientos es de difícil aplicación sin tomar en consideración su combinación con otras barreras hidrofóbicas como ceras comestibles o ácidos grasos. Más recientemente se han intentado conseguir películas comestibles con mejores propiedades, combinando el empleo de gelatina con otros hidrocoloides. Uno de ellos es el quitosán, obteniendo recubrimientos de mejor calidad (Bureau y Multon, 1985).

La aplicación de gelatina como recubrimiento permitió el desarrollo de un efectivo método de conservación que prolongó la vida útil de la fresa en fresco hasta 10 días, evitó la pérdida de firmeza en 70% y peso en 50%, mejorando así la calidad durante su vida en poscosecha (Ramos y Pérez, 2008).

### 2.1.1.2. Colágeno

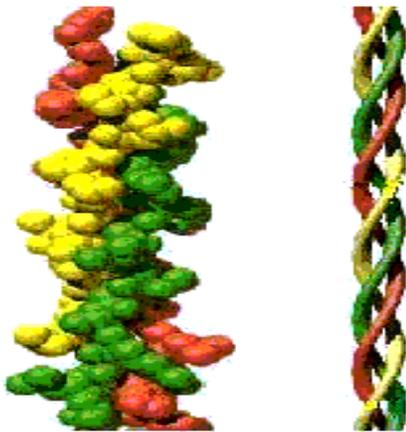


Figura 1. La hélice de colágeno

Fuente: Gibbons *et al.* (2002)

El colágeno, figura 1, es la mayor proteína estructural de muchos tejidos conectivos, tales como piel, tendón y hueso (Fennema, 2000). Soluble en medio ácido (Pérez-Gago, 2000). A medida que se forman los enlaces cruzados del colágeno disminuye su solubilidad en diversos solventes tales como soluciones salinas y ácidos (Guilbert y Biquet, 2005).

El colágeno se convierte en películas comestibles y biodegradables, las cuales se hacen por extrusión y dispersión de un ácido coloidal viscoso en un baño neutralizado, seguido por un lavado y secado (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997).

La película de colágeno es una excelente barrera al oxígeno con 0% de humedad relativa, pero la permeabilidad al oxígeno (OP) incrementa rápidamente cuando incrementa la humedad relativa. El colágeno es una sustancia que presenta una elevada permeabilidad al vapor de agua, lo que hace de él una mala barrera de humedad (Bureau y Multon, 1985). Las películas de colágeno tienen razonablemente buenas propiedades mecánicas (Hood, 1987). La importancia sobre envolturas de colágeno aplicado a los alimentos frescos, radica en que proveen integridad mecánica y funcionan como barrera al oxígeno y a la humedad, reduciendo así las pérdidas postcosecha (Ramos y Pérez, 2008). Flores (2005) aplicó un recubrimiento comestible a base de colágeno logrando prolongar la vida útil de guayabas.

### **2.1.1.3. Zeína**

La zeína es una prolamina (soluble en etanol 70%) de la fracción del gluten de maíz que constituye el 70% del gluten de maíz. La zeína reside principalmente en el endospermo del maíz (Krochta, 1997). Es insoluble en agua, pero soluble en soluciones acuosas de alcohol, glicerol y ésteres de glicerol (Martín-Polo, 1997). La solubilidad de la zeína en etanol acuoso y la insolubilidad en el agua se deben al alto nivel de glutamina (Krochta, 1997). Con base en su solubilidad y secuencias puede ser separada en 4 fracciones proteicas:  $\alpha$ -zeína,  $\beta$ -zeína,  $\gamma$ -zeína y zeína- $\delta$ .

La zeína posee buenas propiedades para formar coberturas, además de excelentes propiedades de adhesividad y buena barrera al oxígeno, aunque por su elevada hidrofiliadad y fragilidad requiere la adición de agentes plastificantes como el glicerol (Gennadios *et al.*, 1994). Sin embargo, la adición de plastificante aumenta la permeabilidad al vapor de agua y oxígeno. Las películas comestibles se pueden formar mediante el secado de las soluciones acuosas de etanol de zeína (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997).

Son aislados de proteína de maíz y se produce mediante el proceso de filtración en frío, es una crema coloreada con un contenido proteico entre 92-98%, ha sido promovida comercialmente como película o cobertura comestible (Torres, 1994).

Guilbert (1986) realizó soluciones de zeína a base de 1-2% de zeína, 55-80% etanol y el resto agua. El secado de la película se logró a 35°C durante 24 horas. La zeína comercial granulada, grado regular F4000, producido por INC Biomedicals, Inc. fue usado como material de recubrimiento para tomates frescos. La solución de zeína fue preparado usando 54g de zeína,

14g de glicerina y 1g de ácido cítrico disuelto en 65g de etanol (95%), la solución de zeína fue aplicada con brocha a los tomates, dos veces, y secadas a temperatura ambiente ( $\approx 23^{\circ}\text{C}$ ) por soplado de aire con un ventilador de mesa (Hyun *et al.*, 1994).

Kanig y Goodman (1962) (citado por Martín-Polo, 1997) evaluaron películas de zeína utilizando ácido oleico como plastificante. El coeficiente de transmisión al vapor de agua (WVTR) es más bajo comparado con películas de etilcelulosa (EC) o de metilcelulosa (ME).

Las películas de zeína tienen buenas propiedades como barrera frente a la humedad. Sin embargo, tienen algunos inconvenientes, ya que sus propiedades organolépticas, especialmente sabor y color, no son siempre bien aceptadas y con frecuencia es necesario utilizar etanol para la preparación de la solución filmógena. Para mejorar el color de las películas pueden someterse a un proceso de decoloración; también se les puede añadir grasas o derivados para modificar sus propiedades mecánicas y de barrera. Estas películas se han aplicado con éxito para la protección de frutas frescas como se indica en la tabla 4 (Guilbert, 1986).

Tabla 4. Películas comestibles a base de proteínas, aplicaciones y funciones (grano de zeína)

<b>Aplicación</b>	<b>Función de la película</b>	<b>Referencia</b>
Tomates frescos enteros	Barrera al oxígeno y humedad. Reducción de cambios de color, pérdida de peso y firmeza.	Park <i>et al.</i> (1994)
Frutas frescas enteras	Buenas propiedades de barrera.	Martín-Polo (1997)

#### **2.1.1.4. Proteínas de la leche**

Las proteínas de leche tienen excelente valor nutricional y poseen numerosas propiedades funcionales las cuales son importantes en la formación de las películas comestibles como su solubilidad en agua y habilidad para actuar con emulsificantes (McHugh y Krochta, 1994). La característica de las proteínas de leche es que son excelentes candidatas para la incorporación en las películas comestibles y recubrimientos para controlar la transferencia de masa en sistemas alimenticios. Las proteínas de la leche se clasifican en dos grandes fracciones: La caseína y las proteínas del suero.

---

**2.1.1.4.1. Caseína**

La leche contiene aproximadamente 27g/L de caseínas, lo que representa el 80% del total de las proteínas de la leche (McHugh y Krochta, 1994).

La caseína, puede dar lugar a recubrimientos comestibles con buenas propiedades mecánicas, además de no conferir ningún tipo de color u olor diferente del alimento donde se aplica (Rojas *et al.*, 2007). Las películas comestibles a base de caseína se pueden obtener por solubilización en agua, seguida por un filtrado y el secado. Los caseinatos forman fácilmente películas en soluciones acuosas debido a su estructura desordenada y a la capacidad para formar gran número de puentes de hidrógeno e interacciones y puentes hidrofóbicos.

La naturaleza anfifílica de los caseinatos hace de ellos excelentes candidatos para la formación de películas emulsionadas (McHugh y Krochta, 1994). Las películas de caseína insolubles en agua pueden prepararse mediante neutralización o acidificación de las soluciones alcalinas de caseína. Cuando esta neutralización se lleva a cabo antes del secado, se obtienen películas más resistentes aunque más fáciles de romper y más opacas que cuando se lleva a cabo después del secado (Guilbert, 1986).

**2.1.1.4.2. Proteínas del suero de leche**

Las proteínas del suero de leche representan el 20% del total de las proteínas de la leche (Brunner, 1977). Tienen un excelente valor nutritivo, solubilidad variable en agua y aptitud como agente emulsionante (Galietta *et al.*, 2004). Son caracterizadas por su solubilidad a pH 4.6. Las proteínas de suero contienen 5 tipos de proteínas:  $\alpha$ -lactalbúmina,  $\beta$ -lactoglobulina, albúmina de serum bovina, inmunoglobulina y proteasas peptonas (McHugh y Krochta, 1994).

La  $\alpha$ -lactalbúmina es el 25% de la proteína de suero. La  $\alpha$ -lactalbúmina activamente enlaza al calcio el cual puede estabilizarla contra la desnaturalización (Kinsella y Whitehead, 1989) (Citado por McHugh y Krochta, 1994).

Por su alto contenido proteico, tanto los concentrados (WPC; aproximadamente 80% en proteína) como los aislados (WPI; >90% proteínas) de proteínas de suero de leche, son ideales para la formación de películas comestibles (Galietta, 2001). Sin embargo, es necesaria la previa desnaturalización de la  $\beta$ -Lg y la  $\alpha$ -La, para exponer los grupos sulfhidrilo (-SH) y disulfuro (S-S)

encubiertos en el centro hidrofóbico de la estructura globular terciaria nativa de estas proteínas. La posterior formación de enlaces disulfuro intermoleculares, principalmente entre las unidades monoméricas de la  $\beta$ -Lg. Monahan *et al.* (1993) promueven la generación de una red tridimensional estable. Sin embargo, es necesario incorporar un plastificante (por ejemplo glicerol o sorbitol) para disminuir la densidad y reversibilidad de las interacciones intermoleculares e incrementar la movilidad de las cadenas y en consecuencia la flexibilidad de la película (Banker, 1966).

McHugh *et al.* (1994a) prepararon películas comestibles a base de soluciones acuosas de 8-12% de aislado de proteína de suero las cuales fueron calentadas entre 75-100°C entre 15-45 minutos en un baño de aceite (Haake Model No. N4B, Catalog No. 13-874-119C, Fizzer Scientific, Inc., NJ). Las soluciones fueron refrigeradas y fue aplicado vacío para remover aire. El pH de la solución fue ajustada antes o después del tratamiento de calentamiento usando 0.1N HCl y/o 0.1N NaOH. El glicerol, polietilenglicol o sorbitol fueron añadidos a continuación (se utilizaron en la misma proporción que WPI 50%/50%). Las soluciones fueron vaciadas a placas de polimetilmetacrilato de 14.7 cm de diámetro interno y fueron secadas durante 18 horas a 23°C y 40% HR. Las películas se forman secando la solución toda la noche sobre una superficie suave a temperatura ambiente. El calentamiento es esencial para la formación de puentes disulfuro intermoleculares necesarios para producir películas intactas. Si no se aplica calor la película se rompe en pedazos pequeños durante el secado

Krochta *et al.* (1990) mostraron que las películas comestibles de proteína de leche y derivados de aceite vegetal podrían substancialmente reducir la pérdida de humedad de cubiertas comestibles. La permeabilidad de éstas películas depende del radio proteína/lípido. El uso de este tipo de película en conjunción con membranas hidrofóbicas, formando bicapas, hace a este tipo de coberturas ideales para el estudio poscosecha de frutas y hortalizas, principalmente en aquellos frutos altamente perecederos (Galietta *et al.*, 2004).

McHugh *et al.* (1994) examinaron los efectos del plastificante y HR sobre la permeabilidad al vapor de agua (WVP) de proteínas de suero. El glicerol y el sorbitol actuaron reduciendo los hidrógenos internos enlazados en las películas, de tal modo que se incrementó la flexibilidad de la película mientras se incrementaba la WVP. Las películas a base de suero de leche plastificadas con glicerol son excelentes barreras al O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (McHugh y Krotcha, 1994), aunque por ser altamente hidrofílicas, no son buenas barreras al vapor de agua (Galietta, 2001).

En la tabla 5 se muestran algunos ejemplos de aplicaciones de películas comestibles a base de proteínas de la leche.

Tabla 5.-Películas comestibles a base de proteínas, aplicaciones y funciones (proteínas de la leche)

<b>Aplicación</b>	<b>Función de la película</b>	<b>Referencia</b>
Suero de leche / Frutas frescas enteras	Alta permeabilidad a los gases.	Rojas <i>et al.</i> (2007)
Suero de leche / manzana fresca rebanada	Reducción del pardeamiento enzimático y reducción de las pérdidas de textura durante el almacenamiento.	Rojas <i>et al.</i> (2007)
Caseína / papaya fresca entera	Barrera a los gases, reducción de la pérdida de humedad.	Guilbert y Biquet (2005)
Caseína / manzanas y naranjas frescas enteras	Control de la pérdida de humedad.	Ukai <i>et al.</i> (1976)
Caseinato –lípidos / vegetales frescos rebanados	Protegen de la migración de humedad y/u oxidación.	Krochta (1997)
Caseinato de sodio conteniendo ácido sórbico / chabacano y papaya frescos enteros	Mejora significativamente la estabilidad microbiana.	Guilbert (1988)
Caseínas / manzana fresca rebanada	Retardan las reacciones de oscurecimiento enzimático.	Le Tien <i>et al.</i> (2001)

#### **2.1.1.5. Aislados de proteína de soya**

Proviene de la semilla de soya, formada mayoritariamente por globulinas. Estos productos son la forma más purificada de la soya, ya que contienen 90% ó más de proteínas. Entre las proteínas formadoras de películas, las de la soya han sido estudiadas por su excelente capacidad para formar películas y sus buenas propiedades de barrera al oxígeno y a los lípidos, en bajas humedades relativas.

Brandenburg *et al.* (1993) prepararon películas con proteína aislada de soya (ISP), la cual fue tratada con la cantidad de 100 veces (w/v) de NaOH 0,1 N con agitación magnética en una placa de agitación durante 2 horas a temperatura ambiente ( $\approx 23^{\circ}\text{C}$ ). El material insoluble se separó

por centrifugación a 3000 rpm por 30 minutos. El sobrenadante fue precipitado a pH isoelectrico 4.5 con HCl 0.1N y se dejó reposar una noche. El precipitado se decantó y se desechó y la solución restante se centrifugó a 2000 rpm por 30 minutos. El sobrenadante se descartó de nuevo y el sedimento se liofilizó a  $-70^{\circ}\text{C}$  y  $2.5\mu\text{g Hg}$ . El liofilizado fue molido finamente con un mortero de cerámica y se almacenó a  $4^{\circ}\text{C}$ . Las películas de ISP fueron preparadas dispersando (5% proteína w/w) y glicerol (3 w/w) y disuelta en agua destilada, la solución fue mezclada a  $60^{\circ}\text{C}$  en un agitador magnético por 10 minutos. El pH fue ajustado con HCl 2N ó  $\text{NH}_4\text{OH}$  10N y la solución fue mezclada 10 minutos adicionales, seguido por el ajuste final de pH. El amoniaco se utiliza como base final para neutralizar el pH de la solución. La solución fue vaciada en placas de vidrio con recubrimientos de teflón de  $30.5\text{cm} \times 17.8\text{cm}$ . Las películas se dejaron secar en condiciones ambientales ( $\approx 13^{\circ}\text{C}$ ) por 15 horas.

El pre-tratamiento de aislados de proteína de soya con álcali mejora la solubilidad y extiende la estructura de la proteína y no tiene efecto sobre la WVP, OP y fuerza de tensión (TS) de la película y sólo produce pequeñas mejoras en elasticidad (E). El pH de la solución formadora de aislados de proteína de soya tiene un efecto significativo sobre las propiedades de la película.

Las películas de aislados de proteína de soya-glicerina tienen baja WVP y OP y superior TS y E a pH 8-12 que a pH 6. Películas de aislados de proteína de soya preparadas con soluciones a pH 6-11 tienen baja WVP y alta TS y E comparadas con las películas preparadas de soluciones a pH 1-3. En el rango de pH entre 4 y 5 no hay formación de películas comestibles (Gennadios *et al.*, 1993a).

El tratamiento térmico de las soluciones formadoras de aislados de proteína de soya a  $85^{\circ}\text{C}$  promueve enlaces intermoleculares cruzados y producen películas de aislados de proteína de soya que son suaves y más transparentes y poseen más baja WVP e incrementan E en comparación con las soluciones producidas sin calentamiento (Brandenburg *et al.*, 1993, Citado por McHugh y Krochta, 1994). Las películas a base de aislados de proteína de soya son transparentes y flexibles cuando se añade un plastificante pero tienen pobres propiedades de barrera al agua (Pérez-Gago, 2000).

El calor de polimerización de las películas en  $80$  y  $95^{\circ}\text{C}$  reducen WVP, E, contenido de humedad y solubilidad en agua e incrementan TS. Los cambios en las propiedades de las películas se atribuyeron al calor inducido por los enlaces cruzados y menor contenido de humedad dentro de la película, con mayor efecto a  $95^{\circ}\text{C}$  (McHugh y Krochta, 1994).

---

**2.1.2. Ejemplos de propiedades sensoriales y físicas de películas comestibles a base de proteínas**

En la tabla 6 se muestran algunos ejemplos de formulaciones de películas comestibles a base de proteínas así como las características físicas de dichas películas. En la primera etapa se resume la composición de la película en base a gelatina, caseína, ovoalbúmina, zeína y aislado de soya. En la segunda etapa se aplicaron tratamientos con agentes químicos diversos para provocar entrecruzamientos de las cadenas de polipéptidos con: ácido láctico, ácido tánico y con soluciones de calcio.

**2.1.3 Películas a base de polisacáridos**

Estas películas tienen propiedades como barrera a los gases y pueden adherirse a superficies de frutas y vegetales. La desventaja al utilizar este tipo de películas es que las propiedades de barrera a la humedad son muy bajas debido a la naturaleza hidrofílica de las mismas (Guilbert, 1986). Se han elaborado películas a partir de celulosa, pectina, almidón, alginatos, quitosanos, carragenina, gomas y mezclas (Guzmán, 2003). Estas películas, la mayoría de las veces son fuertes, de color claro, resistentes relativamente al paso del agua, no se ven afectadas por aceites, grasas o solventes orgánicos no polares (Guilbert y Biquet, 2005).

Los polisacáridos solubles en agua son polímeros de cadena larga que se disuelven o dispersan en agua confiriendo aspecto viscoso (Bosquez *et al.*, 2000). Su selectividad en cuanto a la permeabilidad del oxígeno y al dióxido de carbono condiciona la creación de atmósfera modificada en el interior del alimento, lo que se traduce en un aumento en la vida útil evitando a su vez la creación de condiciones anaeróbicas severas (Guilbert y Biquet, 2005).

Los polisacáridos más empleados suelen ser polímeros de cadena larga, solubles en agua, que producen un fuerte aumento de la viscosidad al dispersarse en ella. El mecanismo de formación de películas de polisacáridos implica frecuentemente la formación de un gel y/o la evaporación del solvente, creando enlaces hidrofílicos con hidrógeno y/o electrolíticos y enlaces iónicos (Butler *et al.*, 1996). Los polisacáridos pueden reducir los niveles internos de O<sub>2</sub> y elevar los de CO<sub>2</sub> permitiendo prolongar la vida de anaquel de los productos vegetales frescos (Guilbert, 2005).

Tabla 6. Formulación y características de las películas proteicas

Composición		Solubilidad en agua		Características de la película
1ra etapa	2da etapa	fría	caliente	
Gelatina 20%, glicerol 0-10%, Agua		-	+	Flexible, suave, transparente, sin olor y sabor.
	CaCl <sub>2</sub> 20%	-	+	Flexible, suave, transparente, ligero sabor a sal.
	Ácido láctico 50%	-	+	Flexible, suave, transparente, resabios ácidos.
	Ácido tánico 20%	-	+	Suave, transparente, color café, resabio astringente.
Caseína 10%, NaOH (pH 8), glicerol 5-10%, Agua		+	+	Flexible, suave, transparente, ligero sabor a leche.
	CaCl <sub>2</sub> 20%	+	+	Flexible, suave, transparente, poco amarga.
	Ácido láctico 30%	-	-	Flexible, ligeramente rugosa, opaca, resabios amargos.
	Ácido tánico 20%	+	+	Suave, transparente, color café, resabio astringente.
Caseína 5%, gelatina 10%, NaOH (pH 8), glicerol 5/10%, agua		-	+	Flexible, suave, transparente, clara.
	Ácido láctico 30%	-	-	Flexible, suave, clara, resabios ácidos.
Ovoalbúmina 10%; NaOH (pH 8)		+	-	Flexible, suave, transparente, clara.
	CaCl <sub>2</sub> 20%	+	-	Flexible, suave, transparente, color amarillento.
	Ácido láctico 30%	-	-	Flexible, suave, transparente.
Zeína 1-2%, etanol 55-80%, agua		-	-	Flexible, superficie granulenta, opaca, amarilla.
Aislado de soya 10%, glicerol 5%, agua		-	+	Flexible, suave, transparente, clara.

Fuente: Adaptada por Guilbert (1986)

Los beneficios de los recubrimientos a base de polisacáridos son:

- a) retención del sabor, ácidos, azúcar, textura y color,
- b) mayor estabilidad durante el embarque y almacenamiento,
- c) mejor apariencia, y
- d) reducción de pudriciones, ya que reducen la posibilidad de que las condiciones anaeróbicas se presenten, esto depende de la elección de la película adecuada y del espesor de la misma (Bosquez *et al.*, 2000).

### 2.1.3.1 Alginatos

Son polisacáridos derivados de algas marrones de origen marino (*Phaeophyceae*), se encuentran formando parte de la pared celular de las algas, de forma análoga a la celulosa y pectina en la pared celular de las plantas terrestres, la fuente principal de alginato comercial es el alga gigante *Macrocystis Pyrifera* (Rojas *et al.*, 2007).

El ácido algínico (figura 2) es un co-polímero insoluble y de bajo peso molecular de los ácidos gulurónico (G) y manurónico (M), pero sus sales de metales alcalinos son solubles en agua y forman geles rápidamente en presencia de calcio, los cuales presentan buenas características para ser empleados como películas comestibles (Rojas *et al.*, 2007).

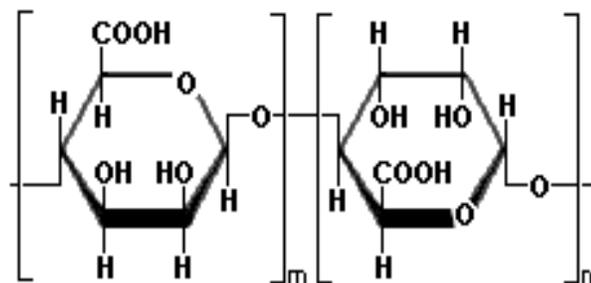


Figura 2. Ácido algínico

Fuente: Gibbons *et al.* (2002)

El alginato reacciona con varios cationes polivalentes para formar geles que se usan para la formación de películas. Los iones de calcio son los agentes más efectivos en la gelificación.

Los alginatos en solución acuosa forman películas tras la adición de agentes formadores de puentes (por ejemplo, sales de calcio), el secado y/o precipitación en presencia de un alcohol

(Guilbert, 1986). Existen dos métodos de gelificación de alginato de calcio y sodio. La gelificación uniforme puede realizarse por dispersión de una sal de calcio de baja solubilidad (Deasy, 1984). Un segundo método implica difusión de los iones de calcio dentro de la solución de alginato. Muchas sales de calcio se pueden usar para la formación de geles de alginato, incluyendo cloruro de calcio, acetato, lactato, tartrato, gluconato, sulfato, citrato, di y tri fosfato de calcio. Se ha encontrado que son más fuertes las cubiertas o películas con  $\text{CaCl}_2$  (Glicksman, 1983). En la tabla 7 se mencionan ejemplos acerca de la aplicación de este polisacárido.

Tabla 7. Películas comestibles a base de polisacáridos, aplicaciones y funciones (alginato)

Aplicación	Función de la película	Referencia
Alginato – monoglicérido acetilado / Manzana fresca rebanada	Ligero aumento de la resistencia al vapor de agua comparado con recubrimientos de naturaleza similar.	Wong <i>et al.</i> (1994)
Alginato / Papaya fresca rebanada	Resistencia al vapor de agua.	Tapia <i>et al.</i> (2005)

**2.1.3.2 Pectina**

Es un carbohidrato purificado, obtenido del extracto diluido en ácido, de la porción interna de la corteza de los frutos cítricos (Allen *et al.*, 1963). La pectina comercial se obtiene a partir de la pulpa de manzana y de frutos cítricos (Fennema, 2000). Están compuestas principalmente de polímeros de ácido D-galacturónico con varios grados de esterificación metílica. Las pectinas se usan por su capacidad de gelificar, propiedad determinada por factores intrínsecos, como su peso molecular y su grado de esterificación, que depende de la materia prima y condiciones de su fabricación (figura 3).

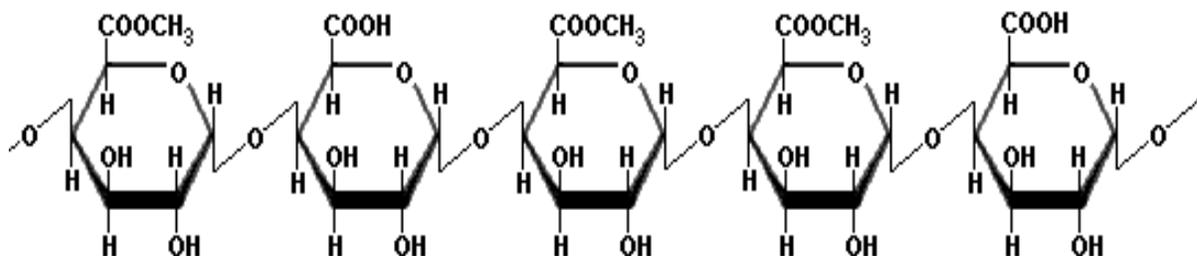


Figura 3. Estructura química de la pectina  
Fuente: Gibbons *et al.* (2002)

En las frutas, la mayoría de los grupos ácidos del ácido galacturónico están esterificados por metanol. Este metanol puede perderse con relativa facilidad por hidrólisis ácida o enzimática, dejando el grupo ácido libre. En función del porcentaje de restos de ácido galacturónico esterificado, las pectinas se clasifican como "de alto metoxilo", figura 4, cuando este porcentaje es superior al 50%, y "de bajo metoxilo", figura 5, cuando es inferior.

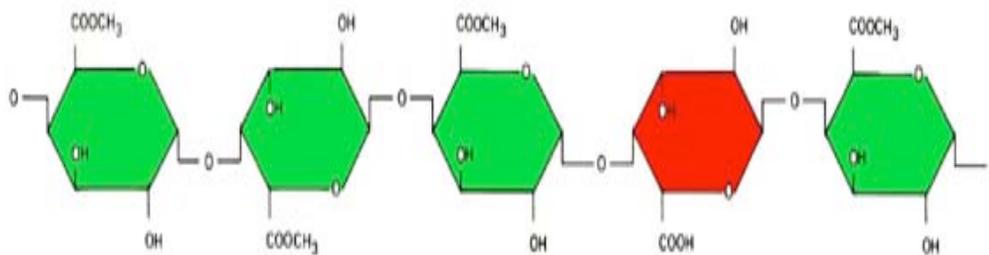


Figura 4. Pectina de alto metoxilo

Fuente: Gibbons *et al.* (2002)

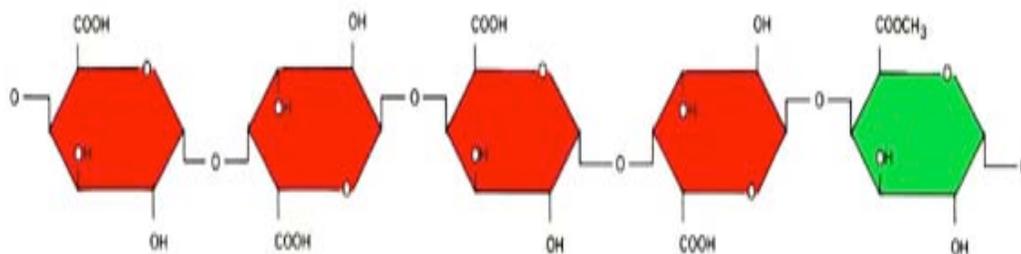


Figura 5. Pectina de bajo metoxilo

Fuente: Gibbons *et al.* (2002)

Las pectinas de bajo grado de metoxilación se emplean normalmente en la elaboración de películas comestibles 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 *et al.*, 2007). Una solución acuosa de pectina de bajo metoxilo se aplica en la superficie, seguido por tratamiento con una solución de calcio que favorece la gelificación, seguido de la evaporación del agua, dando lugar a la formación de la película (Martín-Polo, 1997). Las

películas obtenidas son transparentes, inodoras y ligeramente saladas en el caso de haberseles añadido sales de calcio.

### *Pectinas de bajo metoxilo:*

Condiciones requeridas para la buena funcionalidad de la pectina de bajo metoxilo:

- ❖ La pectina debe estar completamente disuelta en agua caliente.
- ❖ Sólidos solubles entre 10 y 80%.
- ❖ pH entre 3 y 4.
- ❖ Suficiente calcio disponible.

Factores que influyen en la formación de películas con pectinas de bajo metoxilo:

- ☆ Efecto del calcio en la temperatura de solidificación: si se aumenta el calcio aumenta la temperatura de solidificación.
- ☆ Efecto que produce el pH en la dureza del gel: el aumento del pH requiere aumentar el calcio para conservar la dureza del gel.
- ☆ Efecto del calcio y lo sólidos solubles: si se aumentan lo sólidos solubles se reduce la necesidad de calcio.

Wong *et al.*, (1994) evaluaron el efecto de recubrimientos comestibles en forma de bicapas de polisacáridos/lípidos en manzanas frescas rebanadas, probando entre ellos una mezcla de pectina con monoglicérido acetilado, y observaron una reducción en la tasa de producción de CO<sub>2</sub> y etileno de hasta un 90%.

### **2.1.3.3 Carragenina**

Es un extracto de algas marinas rojas Rodofíceas, la cual consiste de una familia de polisacáridos de D-galactosa o 3,6-anhidro-D-galactosa (Martín-Polo, 1997). La carragenina es un polisacárido constituido por una cadena de unidades de galactosa y 3,6 anhidrogalactosa, sulfatadas y no sulfatadas unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,3 y  $\beta$ -1,4, alternantes. De acuerdo con el número y la localización de los grupos sulfato en la cadena, se distinguen tres tipos:  $\kappa$ ,  $\iota$  y  $\lambda$  (figura 6) (Fennema, 2000). En la tabla 8 se recogen algunas de sus propiedades.

Tabla 8. Estructuras y propiedades funcionales de la carragenina

<b>Kappa (κ)</b>	<b>Iota (ι)</b>	<b>Lambda (λ)</b>
<i>Unidad que se repite</i>		
galactosa-4-sulfato-3-6 anhidrogalaactosa	galactosa-4-sulfato-3,6 anhidrogalaactosa,2-sulfato	galactosa-2-sulfato- galactosa-2,6-disulfato
<i>Ion necesario para la gelificación</i>		
K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	No gelifica
<i>Textura del gel</i>		
Fuerte, rígido, opaco	Elástico y claro	No gelifica
<i>Estabilidad frente a la congelación descongelación</i>		
-	+	+

Fuente: Fennema (2000)

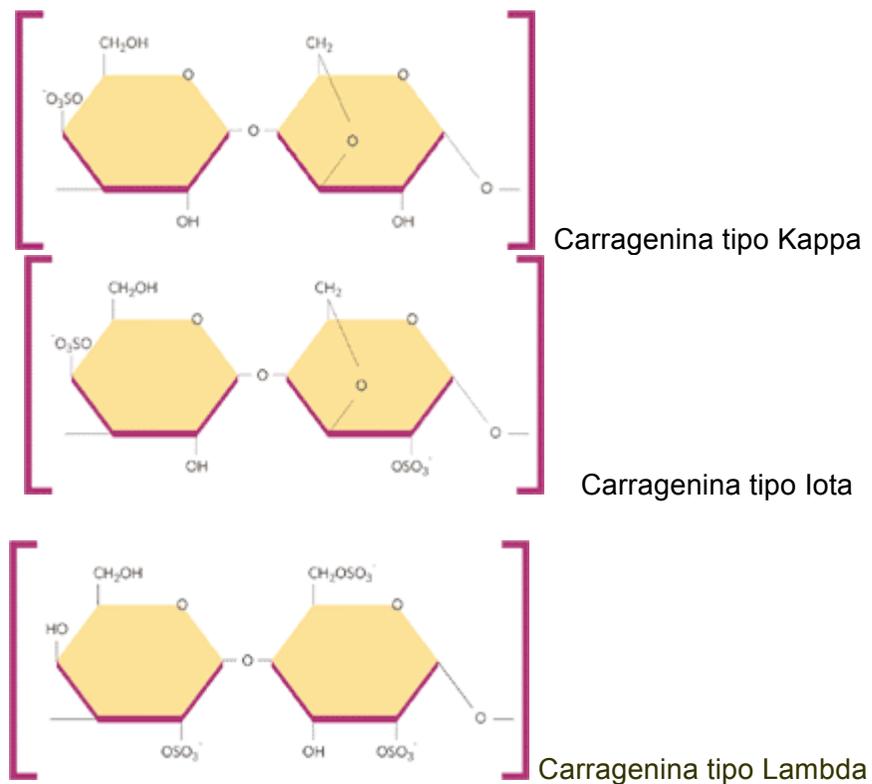


Figura 6. Estructura de las carrageninas

Fuente: Gibbons *et al.* (2002)

La carragenina al dispersarse en agua requiere un ligero calentamiento para que se disuelva, pero al enfriarse establece un gel, cuya calidad y rigidez dependen de la concentración del polímero y de la cantidad de iones potasio, amonio o calcio que contenga el hidrocóide. Esta

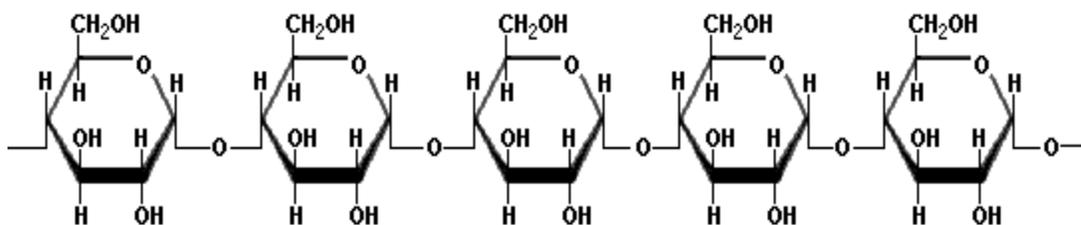
gelificación ocurre probablemente por la formación de una estructura de doble hélice para producir una red tridimensional del polímero (Martín-Polo, 1997).

El gel de carragenina se usa en coberturas para alimentos, entre sus principales funciones están: retardar la pérdida de humedad de los alimentos cubiertos, aumenta la estabilidad contra el crecimiento de microorganismos en la superficie, debido a que son portadores de agentes antimicrobiales. Evitan la oxidación de los alimentos ya que son buenas barreras para el oxígeno. En unión con pectinas de bajo metoxilo goma xantana, goma arábica, pueden satisfacer los últimos requerimientos de las películas (Rojas *et al.*, 2007).

Lee *et al.* (2003) realizaron aplicaciones de carragenina / glicerol, polietilenglicol, ácido ascórbico, ácido oxálico y cloruro de calcio en manzanas frescas enteras y obtuvieron una mayor extensión de vida útil comparadas con manzanas sin recubrimiento.

#### **2.1.3.4 Almidón**

Los granos de almidón de maíz constan de 25% de amilosa y 75% de amilopectina. La amilosa es una cadena lineal que contiene hasta 4000 restos glucosilo, unidos a través de enlaces  $\alpha$ -1,4 glucosídicos. La amilopectina es un polímero ramificado, constituido por repetidas unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -1,4 y ramificado a través de enlaces  $\alpha$ -1,6 (figura 7) (Fennema, 2000).



a) amilosa

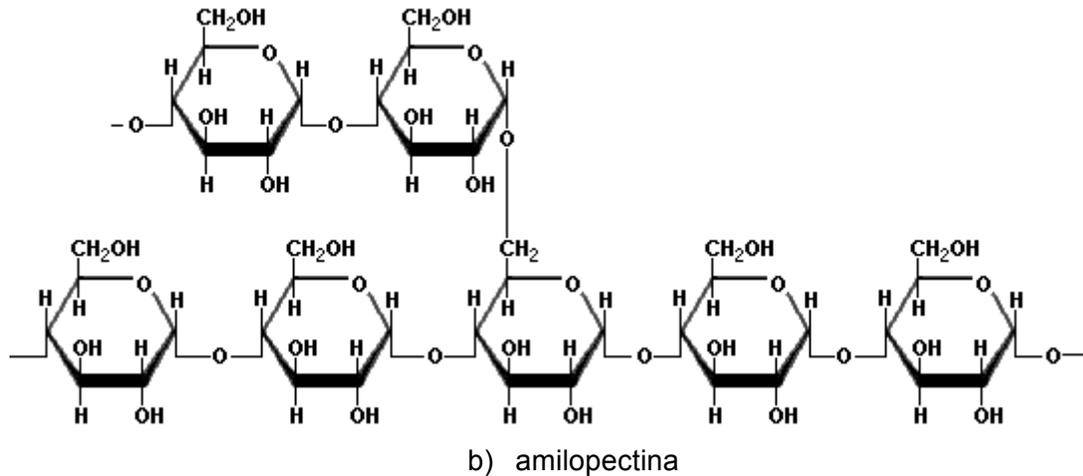


Figura 7. Estructura química de la amilosa (a) y la amilopectina (b)

Fuente: Zamora (2008)

La amilopectina se asocia por medio de enlaces de hidrógeno con cadenas lineales de amilosa, para formar regiones micelares cristalinas. Por esta razón, los gránulos de almidón son insolubles en agua fría. Si se calienta suficientemente como para proporcionarle la energía necesaria para romper los enlaces débiles establecidos entre las micelas cristalinas, los gránulos de almidón se hidratan y se hinchan. El almidón (fundamentalmente la amilosa) se solubiliza, formando una matriz intergranular, lo que produce un incremento de la viscosidad (Fennema, 2000).

Variedades mutantes de granos contienen almidón con arriba de 85% de amilosa. Esos almidones altos en amilosa pueden ser utilizados para la formación de las películas comestibles (Martín-Polo, 1997). Se utilizan como recubrimientos porque aportan brillo (Rojas *et al.*, 2007). Las películas comestibles ricas en amilosa tienen un alto interés debido a sus propiedades de barrera y su bajo costo de producción. Los usos se pueden resumir en la protección de superficies de frutos y frutas secas. Las películas de amilosa, el almidón hidroxipropilado y dextrinas han sido utilizadas como coberturas comestibles de los alimentos para suministrar una barrera al oxígeno y a los lípidos y para mejorar la apariencia en la textura. Las propiedades mecánicas son generalmente inferiores a las películas de polímeros sintéticos.

Las películas comestibles se producen por vaciado o moldeo de una dispersión acuosa gelatinizada de amilosa, seguida por evaporación del solvente, lo que da lugar a la formación de una película transparente. La matriz o red es normalmente formada durante el secado de una

dispersión gelatinizada debido a los puentes de hidrógeno que se establecen entre los grupos hidroxilo (Krocha y De Mulder-Johnston, 1997).

Bertuzzi *et al.* (2002) utilizaron almidón de alta amilosa (Sigma Chemical Co., St. Louis, Mo., USA) para la elaboración de películas, con un contenido de amilosa aproximado del 70% y 1.2% de lípidos nativos; glicerol (Merck) e hidróxido de sodio de grado analítico. Se dispersó 1g de almidón en 20 ml de NaOH 0.125N, se agitó y posteriormente se gelatinizó en un baño de agua caliente agitado a 78 - 80°C durante 10 minutos. Se adicionó el glicerol como plastificante en concentraciones del 0 al 60%. La solución aún caliente se vierte en placas Petri plásticas y se dejan secar en estufa a 35°C con circulación de aire durante 15 horas, o 48 horas a temperatura y humedad ambientes. Las películas se extrajeron de las placas y se acondicionaron en ambientes de HR del 53%.

Las películas son claras, flexibles, transparentes y con excelentes propiedades como barrera frente al oxígeno o a humedad relativa baja, incluso en presencia de plastificantes, como por ejemplo, el glicerol. Por el contrario son muy sensibles al agua y no aseguran una buena protección frente a la humedad (Guilbert, 1986).

#### 2.1.3.4.1 Dextrina

Las dextrinas son un grupo de oligosacáridos de poco peso molecular producidas por la hidrólisis del almidón, figura 8. Tienen la misma fórmula general que los polisacáridos pero son de una longitud de cadena más corta. La producción industrial es realizada generalmente por la hidrólisis ácida del almidón de patata. Las dextrinas son solubles en agua, sólidos de color blanco hasta levemente amarillo.

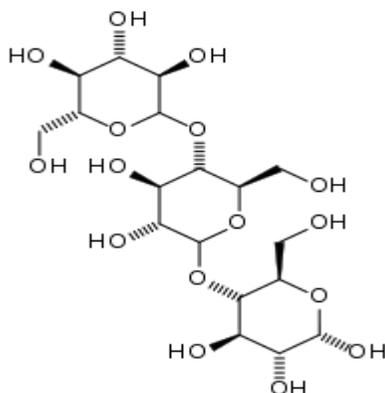


Figura 8. Estructura química de la dextrina

Fuente: Zamora (2008)

Las dextrinas presentan propiedades de barrera a la humedad ligeramente superior, lo que ha permitido su aplicación en frutas mínimamente procesadas. No obstante, como la mayoría de carbohidratos, son muy sensibles al agua, lo que limita sus aplicaciones o, en el mejor de los casos, obliga a usarlas combinadas con materiales de otra naturaleza.

Algunas aplicaciones del almidón y dextrinas se resumen en la tabla 9.

Tabla 9. Películas comestibles a base de polisacáridos, aplicaciones y funciones (almidones y derivados)

<b>Aplicación</b>	<b>Función de la película</b>	<b>Referencia</b>
Amilosa		
Fresas frescas enteras	Extender la vida útil con disminución del proceso de senescencia, mantenimiento de la firmeza y reducción de la pérdida de peso durante el almacenamiento.	García <i>et al.</i> (1998)
Dextrinas (almidón hidrolizado)		
Manzanas frescas rebanadas	Barrera al oxígeno.	Murray y Luft (1973)

### **2.1.3.5 Celulosa y derivados**

La celulosa se encuentra presente en todas las plantas como principal componente estructural de sus paredes celulares. Comercialmente, este polisacárido se obtiene de la madera y del algodón, siendo esta última la fuente más pura. La celulosa está compuesta por unidades de D-glucosa unidas a través de enlaces glucosídicos  $\beta$  (1-4) (figura 9) (Fennema, 2000). La celulosa es insoluble en agua por el alto número de puentes de hidrógeno, pero mediante la sustitución de grupos hidroxilo por otros grupos funcionales se obtienen derivados solubles en agua, como metilcelulosa (MC), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), hidroxipropilcelulosa (HPC), carboximetilcelulosa (CMC), hidroxietilcelulosa (HEC), que son los derivados celulósicos más comúnmente empleados en la fabricación de películas comestibles ya que son capaces de formar redes continuas en soluciones acuosas, algunas de las aplicaciones en frutas frescas se encuentran en la tabla 10.

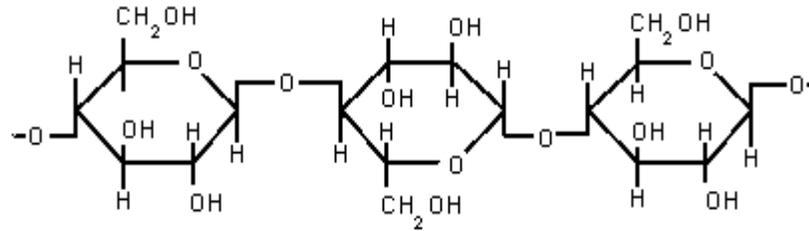


Figura 9. Estructura química de la celulosa

Fuente: Gibbons *et al.* (2002)

Algunos ejemplos de la elaboración de las películas comestibles a base de derivados de celulosa se describen a continuación.

Uquiche *et al.* (2002) prepararon una solución acuosa de CMC (Sigma Chemical) al 1%, disolviendo 1g de CMC (Sol. 1% 1000-1500 cp) en 100 ml de agua destilada. Disuelto completamente el CMC, se adicionó 0.5 ml de glicerol (Merck) como plastificante, agitando la solución por 10 minutos a 2000 rpm mediante un agitador. Se calentó la mezcla hasta 70°C en una estufa de baño Memmert (30°C-100°C) y se adicionó 0.25 g de ácido esteárico (Sigma Chemical). Luego de fundirse el ácido graso, se homogeneizó la mezcla por 15 minutos a 2000rpm, dejándose enfriar hasta 20°C, quedando lista para su aplicación. La aplicación se realizó para los pimentones y el método usado fue el de inmersión.

Valle *et al.* (2008) diseñaron un experimento con 18 películas obtenidas de la combinación de dos niveles de goma arábica (20 y 30%), tres niveles de CMC (0.25, 0.50 Y 0.75%) y 3 niveles de glicerol (5, 10 y 15%). Cada mezcla se preparó con agua destilada, calentando hasta 90°C y agitando sin calefacción adicional durante 30 minutos posteriores. Las dispersiones se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente y de cada una se tomaron 10ml que fueron vaciados en la tapa de una caja petri. Todas las unidades se dejaron en reposo durante 24 horas sobre una base nivelada.

Park *et al.* (1993) utilizaron soluciones preparadas con la dilución de 9g MC o HPC en una mezcla de solventes compuesta por etanol 95% (200 ml) y agua (100 ml). Debido a su solubilidad la MC primero fue disuelta en etanol y la HPC primero fue disuelta en agua. Las soluciones fueron homogeneizadas a 6000 rpm durante 5 minutos. Cada solución fue condicionada a 85°C por 15 minutos en un baño de agua. A continuación se vierten 200 ml de solución repartidas en placas de vidrio (24 x 24 cm) y se secan a 25°C. Las películas se desprenden de las placas y se utilizan para las pruebas.

Debeaufort y Voilley (1994) elaboraron películas comestibles de MC que fueron obtenidas por solubilización de 4.25g de MC en 75 ml de solución de agua-etanol (3:1 v/v) con agitación en un mezclador magnético a 75°C por 10 minutos. Después fueron agregados 1.4 ml de polietilenglicol 400 y la solución viscosa se mantuvo por 5 minutos en las mismas condiciones, la solución se extendió sobre placas de vidrio cubiertas por policloruro de vinilo para facilitar el desprendimiento de las películas. Las películas fueron secadas a 25°C y 40% HR durante 12 horas.

La MC, siendo la menos hidrofílica de los ésteres de celulosa solubles en agua, podría suponerse que fuera la más resistente contra el transporte del vapor de agua (Martín-Polo, 1997). Las películas a base de celulosa son muy eficientes como barrera al oxígeno e hidrocarburos y su propiedad de barrera de vapor de agua puede ser mejorada por adición de lípidos (Biquet y Labuza, 1988; Kamper y Fennema, 1984a, 1984b; Park y Chinnan, 1990). Las soluciones acuosas de MC forman geles relativamente fuertes a temperatura crítica de aproximadamente 50°C (Park *et al.*, 1993). Generalmente, las películas formadas a partir de estos ésteres son sólidas, claras y poco resistentes al agua.

La HPC es el único polímero hidrófilo realmente termoplástico que puede ser moldeado por inyección o extrusión, es comestible y biodegradable (Guilbert, 1986). Las soluciones de HPC no forman geles en caliente pero precipitan a temperaturas de 40 °C. Generalmente, las películas formadas a partir de estos ésteres son sólidas, claras y resistentes a los aceites y a la mayoría de solventes orgánicos no polares. Este tipo de cubiertas se emplea para controlar la difusión de oxígeno y dióxido de carbono, con el fin de retrasar los procesos de maduración de frutos y vegetales. En algunos de los estudios de los materiales celulósicos se determinaron los factores que afectan a la permeabilidad y a las propiedades mecánicas de películas de MC y HPC, observando como tanto la permeabilidad al vapor de agua como la resistencia a la tensión se incrementan con el peso molecular de dichas celulosas. Sin embargo, algunas propiedades mecánicas de las películas de HPC, tales como la elongación, presentan valores óptimos para pesos moleculares del polímero intermedios. La permeabilidad al oxígeno y vapor de agua no se ve afectada por incrementos en el espesor de la película, mientras que la adición de plastificantes la mejora notablemente.

Soluciones de HPMC forman geles térmicamente inducidos de baja fuerza a 50°C – 85°C (Park *et al.*, 1993) pero floculan a temperaturas cercanas a los 40°C (Martín-Polo, 1997). La MC y la HPMC muestran la propiedad única de gelificación térmica reversible en sistemas acuosos.

Ambos polímeros son solubles en agua fría y cuando sus soluciones acuosas son calentadas, la viscosidad disminuye con un aumento en la temperatura (Martín-Polo, 1997).

Tabla 10. Películas comestibles a base de polisacáridos, aplicaciones y funciones (CMC, MC)

Aplicación	Función de la película	Referencia
Carboximetilcelulosa		
Plátanos, manzanas, peras, tomates, naranjas enteras frescas.	Barrera al dióxido de carbono y oxígeno.	Banks (1984); Banks (1985); Lowings y Cutts (1982); Meheriuk y Lau (1988); Nisperos y Baldwin (1988); Nisperos-Carriedo <i>et al.</i> (1990)
CMC / lecitina / polietilenglicol / mango entero fresco.	Mantenimiento del color del mango durante todo el almacenamiento.	Nisperos-Carriedo (1994)
Metilcelulosa		
Peras frescas rebanadas.	Reducción del pardeamiento enzimático.	Rojas <i>et al.</i> (2007)
MC / maltodextrina / manzanas frescas rebanadas.	Disminución a la producción de etileno y el pardeamiento enzimático.	Brancoli y Barbosa-Cánovas (2000)

### 2.1.3.6 Quitosán

La quitina es un polisacárido córneo, insoluble, que constituye el exoesqueleto de los Artrópodos (crustáceos, algunos moluscos e insectos) y las paredes de las células de muchos hongos y algas (Bought *et al.*, 1978). En la naturaleza se encuentra en distintas configuraciones  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$  quitina (figura 10), siendo la más abundante la  $\alpha$ -quitina (Bosquez, 2000).

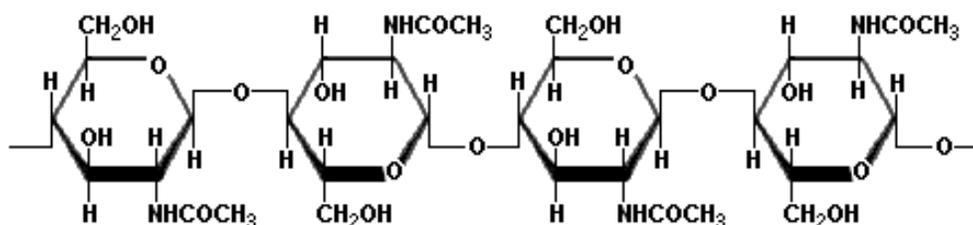


Figura 10. Estructura química de la quitina

Fuente: Gibbons *et al.* (2002)

El derivado de la quitina que mayor atención y usos ha recibido es el quitosán (figura 11) (Bosquez *et al.*, 2000). El término quitosán se refiere al producto de desacetilación obtenido a partir de la quitina en la que los grupos acetilo han sido eliminados, por consiguiente en el quitosán el grupo amino se encuentra libre, como amina primaria.

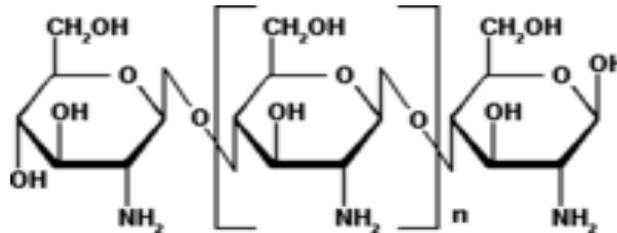


Figura 11. Estructura química del quitosán

Fuente: Zamora (2008)

El quitosán reduce el crecimiento de un amplio rango de hongos y bacterias, además, induce mecanismos de defensa, tales como la producción de fitoalexinas y aumento en la actividad de quitinasas. Sin embargo, la funcionabilidad y actividad del quitosán depende de sus características físicas como el peso molecular y el grado de acetilación. Su uso podría ser una alternativa viable a los métodos de conservación, debido a sus características de biocompatibilidad y biofuncionalidad, aunado a sus propiedades de viscosidad. Además de ser completamente biodegradable y no tóxico (González-Aguilar *et al.*, 2005).

Díaz *et al.* (2002) elaboraron películas comestibles a base de quitosán, el polisacárido fue disuelto en una solución de ácido acético al 3%, agitando durante 1 hora a 1500 rpm a 40°C. Posteriormente se añadió sorbitol, las soluciones fueron vertidas en placas Petri de 11 cm de diámetro y secadas en estufa a 35°C durante 16 horas. En algunos casos es necesario centrifugar la disolución para eliminar el aire incorporado (Trejo *et al.*, 2001). En la tabla 11 se describen las propiedades del quitosán y en la tabla 12 algunas de las aplicaciones como película comestible en frutas y vegetales frescos.

Tabla 11. Propiedades del quitosán

<b>Propiedades</b>	<b>Descripción</b>	<b>Referencia</b>
Propiedades catiónicas	El quitosán es un polieléctrolito a pH's ácidos.	Bosquez (2000)
Propiedades químicas	Polímero de alto peso molecular.	Bosquez (2000)
Propiedades fisicoquímicas	Las películas de quitosán se solubilizan con tratamiento con formaldehído, cloruros de acilo, anhídridos de ácidos o sales de metales alcalinos o de amonio de ciertos arenosulfonatos alquilados.	Bosquez (2000)
Propiedades de solución	El quitosán es insoluble en agua a pH neutro y altamente soluble en diluciones de ácido nítrico y ácido acético, marginalmente soluble en 0.5% de ácido fosfórico e insoluble en ácido sulfúrico en cualquier concentración y temperatura. Los mejores solventes son soluciones acuosas que contienen de 0.2 a 100% de ácido fórmico y ácido acético.	Bosquez (2000)
Propiedad formadora de películas	Tienen la capacidad de formar películas biodegradables, que puedan presentar una barrera superior al oxígeno, menor fuerza de tensión y mayor flexibilidad comparada con empaques de películas sintéticas semejantes al polipropileno. Reduce las pérdidas de peso por transpiración en frutos y vegetales perecederos. Posee propiedades antifúngicas.	Bosquez (2000); Yueming y Yuebiao (2001); Krochta y De-Mulder-Johnston (1997)

La quitina y el quitosán han sido utilizados exitosamente como envolturas de alimentos ya que éstas películas son transparentes, durables, flexibles, difíciles de romper (Muzzarelli, 1986) y se forman por moldeo de solución acuosa (Allen *et al*, 1963). Los estudios corroboran que los alimentos de origen vegetal tratados con quitosán mejoran su calidad, retardan su maduración y tiempo de deterioro, prolongando su vida útil (Rodríguez *et al.*, 2000).

Tabla 12. Películas comestibles a base de polisacáridos, aplicaciones y funciones (quitosán)

<b>Aplicación</b>	<b>Función de la película</b>	<b>Referencia</b>
Pepinos frescos, pimientos campana enteros	Control en el deterioro postcosecha.	El Ghaouth <i>et al.</i> (1991)
Manzanas, peras, duraznos, ciruelas frescas enteras	Barrera al O <sub>2</sub> y al CO <sub>2</sub> .	Davis <i>et al.</i> (1989); Elson <i>et al.</i> (1985)
Manzanas frescas rebanadas	Previno pérdida de peso, excelente recubrimiento antifúngico.	Assis y Pessoa (2004)
Fresas frescas enteras	Disminución de la velocidad de respiración.	El Ghaouth <i>et al.</i> (1991)
Mangos frescos enteros	Reducción de pérdida de agua, mantenimiento del color y sabor original. Retardó la maduración.	Rojas <i>et al.</i> (2007); Chien <i>et al.</i> (2007)
Duraznos frescos enteros	Inhibición de la maduración y el envejecimiento, disminución de la velocidad de respiración y producción de etileno.	Li y Yu (2000)
Mandarinas frescas enteras	Reducción de la pérdida de peso.	Solvía y Martín-Belloso (2001)
Papaya fresca rebanada	Retardó de la maduración y senescencia.	González-Aguilar <i>et al.</i> (2005)
Peras, naranjas, melocotones y ciruelas frescas enteras	Barrera al O <sub>2</sub> y al CO <sub>2</sub> .	Allen <i>et al.</i> (1963)
Tomates frescos enteros	Buena firmeza.	El-Ghaouth <i>et al.</i> (1992)
Frambuesas frescas enteras	-Disminuyó la pérdida de peso y pardeamiento enzimático. -Estudiaron la capacidad fílmica del quitosán como transportador de calcio y vitamina E, demostraron que la presencia de estos nutrientes no alteran las propiedades antifúngicas y de barrera del polímero, aumentando enormemente los contenidos de calcio y vitamina E.	Zhang y Quantick (1997)  Mei <i>et al.</i> (2002)

**2.1.4 Ejemplos de propiedades sensoriales y físicas de películas comestibles a base de carbohidratos**

En la tabla 13 se muestran características sensoriales de películas con base en carbohidratos, la primera etapa muestra la composición de CMC, maltodextrina y alginato de sodio, y para el alginato de sodio involucra iones de calcio como agentes gelificantes.

Tabla 13. Formulación y características de películas con base de carbohidratos

Composición		Solubilidad en agua		Características de la película
1ra etapa	2da etapa	Fría	caliente	
Carboximetilcelulosa 1-3%, agua		+	-	Flexible, suave, transparente, sin olor, sin sabor, clara.
Maltodextrina 3-10%, agua		+	+	Flexible, sin olor, sin color, suave, transparente, clara.
Alginato de sodio 2%, glicerol 20%, agua	CaCl <sub>2</sub> 4%, agua	-		Flexible, sin olor, sin color, suave, transparente, clara.
Alginato de sodio 2-5% agua	CaCl <sub>2</sub> 5%, agua			Flexible, suave, transparente, sin sabor, sin olor, clara.

Fuente: Adaptada por Guilbert (1986)

**2.1.5 Películas con lípidos y a base de lípidos**

Para la elaboración de películas o recubrimientos comestibles se han utilizado un gran número de compuestos lipídicos tales como: aceites y grasas vegetales y animales, acetoglicéridos, ceras naturales o agentes tensoactivos. Se emplean esencialmente debido a sus excelentes propiedades como barrera frente a la humedad, ya sea en forma de capas protectoras de la superficie o como barrera entre dos compartimentos de un alimento heterogéneo. Así mismo, pueden cumplir otras funciones tales como soportes de aditivos liposolubles, proteger contra la abrasión de superficies o en el escaldado de las frutas, durante su transporte o almacenamiento;

también pueden actuar como protección frente al crecimiento microbiano de la superficie, la oxidación, etc. (Guilbert, 1986).

La composición, temperaturas de fusión y solidificación, la estructura cristalina (forma polimórfica) de los lípidos y derivados, por una parte, y las interacciones con el agua, el oxígeno y los demás componentes del alimento por otra, van a influir en las propiedades físico-químicas, funcionales y organolépticas de la película o del recubrimiento. En general, las películas lipídicas y sus derivados son extremadamente interesantes por sus propiedades como barrera, aunque plantean numerosos problemas de estabilidad (especialmente frente a la oxidación), de textura (las películas a base de grasas sólidas o de ceras son quebradizas y frágiles) y organolépticas (gusto a «cera», a «vela» etc.). Las grasas sólidas y las ceras son difíciles de aplicar de forma homogénea y con un espesor constante (Guilbert, 1986).

Los materiales que forman películas insolubles de naturaleza lipídica tales como las grasas y las ceras, pueden obtenerse por aplicación en su forma líquida en caliente seguido de un enfriamiento con solidificación directa, bajo forma de emulsión o de microemulsión con el agua o en solución en un solvente orgánico apropiado seguido de una evaporación del agua o del solvente (Guilbert, 1986). Los materiales de naturaleza lipídica se suelen utilizar con la finalidad de aportar hidrofobicidad a una determinada superficie, lo cual hace que su uso sea extensible a una gran variedad de productos.

Por otro lado, algunos lípidos y principalmente algunas resinas, pueden proporcionar la generación de condiciones anaeróbicas en el interior del alimento, especialmente a temperaturas de almacenamiento elevadas, debido a su baja permeabilidad a los gases.

Generalmente las películas a base de lípidos se aplican en forma de emulsiones, el tamaño de la partícula de lípido varía con la técnica de preparación de las emulsiones, la presencia de estabilizantes, y con el tipo y contenido de lípido de las formulaciones. La obtención de microemulsiones, con un tamaño de partícula de lípido que varía de 0.01 a 0.2  $\mu\text{m}$ . Las microemulsiones presentan excelentes propiedades barrera, siendo translúcidas y termodinámicamente estables (Artz, 1990). Las macroemulsiones son fáciles de preparar, sin embargo, son termodinámicamente inestables, por lo que requieren la adición de emulsificantes en la formulación, y presentan un aspecto turbio (Baldwin *et al.*, 1997), formando películas con menor brillo que las microemulsiones. En 'películas emulsionadas' las moléculas de lípido dispersas en la matriz de hidrocoloide interrumpen la continuidad de la misma modificando las

propiedades mecánicas de la película. En general, las discontinuidades que produce el lípido en la matriz de hidrocoloide son puntos de fractura que reducen la resistencia de la película a la tracción (Artz, 1990).

Las cubiertas de lípidos sobre frutas podrían servir también como para la reducción de la abrasión de superficie durante el manejo y el control del daño por frío y como barreras de permeabilidad selectivas a los gases producidos por la maduración y por la respiración del fruto. No obstante su uso de forma individual, presentan limitaciones debido a que la mayoría carecen de suficiente estabilidad estructural. Por ello suelen requerir la presencia de una matriz que actúe como soporte (Park, 1999). En este sentido, estudios sobre películas comestibles y recubrimientos utilizando mezclas de compuestos lipídicos y proteínas y carbohidratos (material de soporte), se han realizado con la finalidad de aprovechar las características propias de cada material. Por ejemplo, una película comprendiendo un lípido y un hidrocoloide de alto peso molecular podría poseer una buena cohesión estructural impartida por el biopolímero de larga cadena y contar con la hidro-repelancia impartida por el lípido (Martín-Polo, 1997). De Gier *et al.* (1968) utilizando membranas lipídicas artificiales, por una parte, y Landman *et al.* (1960), Watters y Brekke (1961) y Kamper y Fennema (1984a) utilizando películas comestibles a base de lípidos por otra, estudiaron la influencia de la tasa de instauración de los lípidos sobre sus propiedades como barrera frente al agua y demostraron que los lípidos saturados eran los más eficaces. Los agentes tensoactivos especialmente lecitinas, tweens y spans, forman parte de la composición de numerosas películas lipídicas. Facilitan su aplicación en forma de emulsión (efecto emulsionante) y permiten obtener películas más flexibles y menos quebradizas (Guilbert y Biquet, 1996).

#### **2.1.5.1 Ceras**

Las ceras naturales son ésteres de ácidos carboxílicos y alcoholes de cadena lineal larga (Hagenmaier y Baker, 1993). Las ceras se emplean para actuar como barrera frente a los gases y la humedad (recubrimiento de frutas frescas o deshidratadas) y para mejorar el aspecto de la superficie y la presentación de ciertos alimentos «lustre». El recubrimiento con cera de frutas y verduras frescas se lleva a cabo para reducir la deshidratación y controlar los intercambios gaseosos respiratorios, lo que conduce en ambos casos a un mayor tiempo de conservación. Este recubrimiento permite la sustitución de las ceras cuticulares naturales generalmente dañadas durante la cosecha y las manipulaciones posteriores. En algunos casos, la eficacia de recubrimientos de frutas frescas incrementa cuando se elimina previamente las ceras naturales.

Este encerado no debe bloquear totalmente los intercambios de oxígeno y anhídrido carbónico a fin de evitar la respiración anaerobia, que implicaría desórdenes fisiológicos y alteraría la calidad del producto.

Las formulaciones empleadas presentan una gran variabilidad y entre sus componentes se encuentran las ceras de abeja, de carnauba o de parafina, entre otras, siendo estas últimas una de las más eficientes debido a la ausencia de grupos polares. Las ceras pueden utilizarse para retener ciertos aditivos en la superficie de los alimentos.

Muchas frutas, por ejemplo, los cítricos, manzanas, aguacates, y verduras, como pepinos, tomates, etc., pueden ser sometidos a esta operación para mejorar su estabilidad durante el almacenamiento y su aspecto superficial. El encerado de frutas y verduras frescas permite una reducción del 40 al 75% de la pérdida de peso por deshidratación durante el almacenamiento (Guilbert, 1986).

El encerado de frutas puede resultar en la creación de una atmósfera interna modificada dentro de la fruta consistiendo de relativamente bajo  $O_2$  y alto  $CO_2$  comparado con las frutas sin encerar. Éste también induce a incrementar la cantidad de algunos sabores volátiles como el etanol y acetaldehído (Nisperos-Carriedo *et al.*, 1990). Normalmente se utilizan emulsiones de ceras a las que se añaden soluciones de resinas, como goma-laca, para mejorar el brillo. Las ceras para comercialización directa se formulan con porcentaje total en sólidos no superior al 18% mientras que en las ceras de conservación no se sobrepasa el 10-12%. En la comercialización directa las combinaciones de ceras naturales de abeja, candelilla y carnauba con goma laca proporcionan buenos resultados, aumento de brillo en naranjas y mandarinas. En la utilización de ceras para conservación frigorífica de naranjas con el 10-12% de sólidos totales no hubo ningún problema para porcentajes de goma laca hasta el 4% (Martínez, *et al.*, 2006).

La permeabilidad al vapor de agua y los gases  $CO_2$  y  $O_2$  varía según el tipo de cera. Es deseable una baja permeabilidad al vapor de agua para reducir las pérdidas por transpiración que llevan al arrugamiento, ablandamiento y a la aparición de alteraciones fisiológicas de la postcosecha. La baja permeabilidad al  $CO_2$  y  $O_2$  puede llevar a respiración anaeróbica y aumento de volátiles con riesgo de malos sabores. En la tabla 14 se presentan algunos propósitos de aplicación y factores a considerar en la aplicación de ceras.

Tabla 14. Propósitos de aplicación y factores a considerar para la efectividad del uso de recubrimientos a base de ceras en la calidad de cítricos

Propósitos de aplicación	Factores a considerar
Control de la deshidratación: “stress” hídrico como principal causa de deterioro en cítricos: <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Pérdidas de peso, arrugamiento, ablandamiento.</li> <li>◆ Alteraciones fisiológicas.</li> <li>◆ Control de daño por frío: chilling injury.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Variedad a la que se aplique la cera.</li> <li>◆ Condiciones de almacenamiento.</li> <li>◆ Composición de las formulaciones.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ceras solventes / ceras al agua.</li> <li>○ Tipos de ceras y/o resinas</li> <li>○ Otros ingredientes</li> </ul> </li> <li>◆ Proporción de ingredientes.</li> <li>◆ Contenidos en sólidos totales de las formulaciones.</li> </ul>
Control de alteraciones patológicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Podredumbres causadas por <i>Penicillium digitatum</i> y <i>P. italicum</i>.</li> <li>◆ Puede actuar como vehículo para la aplicación de funguicidas.</li> </ul>	
Aporta brillo: efecto sobre la comercialización.	

Fuente: Pérez-Gago (2000)

### 2.1.5.1.1 Tipos de ceras

Los tipos de ceras que se utilizan en la industria se clasifican en ceras solventes y ceras al agua.

#### ☆ Ceras solventes

Consisten en disoluciones de una o más resinas en hidrocarburos de petróleo. Las resinas son sustancias orgánicas de origen vegetal, sólidas o semisólidas, transparentes o translúcidas, solubles en alcohol e insolubles en agua, que fluyen de determinadas plantas.

#### ☆ Ceras al agua

Consisten en disoluciones de una o más resinas y/o ceras en agua.

1. Soluciones de resinas: compuesta por una o más resinas solubles en álcalis (hidróxido sódico o amónico).
2. Emulsiones acuosas: compuestas por ceras emulsionables (50-80%) y resinas pertenecientes al grupo anterior.
  - *Ceras vegetales:*

- Carnauba, punto de fusión (PF): 84-86 °C
- Candelilla, PF: 67-68 °C
- *Ceras animales:*
  - Cera de abeja, PF: 62-65 °C
- *Ceras minerales:*
  - Parafina, PF: 35-65 °C (Pérez-Gago, 2000).

***Ceras vegetales.***

- Cera de carnauba:
  - La cera de carnauba se obtiene de las hojas de la palma *Copernicia cerifera*.
  - Está formada fundamentalmente por ésteres de ácidos grasos con C24-C32 y alcoholes saturados de cadena larga.
  - Es la cera con mayor grado de dureza, por lo que se suele incorporar a las formulaciones para aumentar el punto de fusión, aumentar la dureza de las formulaciones y dar brillo.
  
- Cera de candelilla:
  - Se obtiene de la exudación de la planta candelilla que crece principalmente en México.
  - Contiene hidrocarburos (C29-C33) ésteres, alcoholes, ácidos grasos y resinas.
  - También se usa mezclada con otras ceras para endurecerlas, sin que se modifique el punto de fusión.
  - Una de sus principales ventajas en el uso de recubrimientos para frutos u hortalizas es su alta permeabilidad al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> lo que permite que los productos cubiertos posean adecuados niveles internos de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, lo que reduce la tendencia al desarrollo de sabores extraños (Bósquez, 2003).

***Ceras animales.***

- Cera de abeja:
  - Se obtiene de los panales de abeja y posteriormente se blanquea y refina.
  - Contiene alcoholes (C24-C33), hidrocarburos (C25-C33) y ácidos de cadena larga (C24-C34).

- 
- Tienen alta plasticidad a temperatura ambiente, pero es quebradiza a bajas temperaturas.
  - Contiene ácidos libres, ésteres y otros componentes naturales, que le dan características especiales, tales como propiedades emulsificantes, plasticidad y olor agradable.
  - Es soluble en otras ceras y grasas (Pérez-Gago, 2000).

***Ceras minerales.***

➤ Parafina:

- Está permitido su uso como aditivo alimentario y como agente protector como recubrimiento en frutas y hortalizas siempre y cuando las cantidades no excedan lo establecido en las buenas prácticas de manejo.
- Para ser de uso alimentario la parafina natural debe ser refinada (Bósquez, 2003).

**2.1.5.1.2 Aplicación de las ceras**

- Ceras al agua. Emulsión de aceite en agua.
  - ☉ La impregnación de la cera sobre el fruto se facilita por la acción de cepillos rotatorios sobre los que avanza la fruta desde su paso por debajo de los pulverizadores.
  - ☉ No se requiere de un grado de secado previo a la aplicación tan estricto como en las ceras solventes.
  - ☉ Requiere de un túnel de secado a la salida del aplicador con rodillos no giratorios para que la cera se fije correctamente.
  - ☉ La limpieza de la línea se realiza con agua a presión.
  - ☉ Es difícil conseguir recubrimientos uniformes en la superficie del fruto, puesto que la fruta no avanza a la misma velocidad y la cantidad de fruta que entra en el aplicador por unidad de tiempo no es constante (Pérez-Gago, 2000).

En la tabla 15 se describen algunos de los efectos del recubrimiento de ceras en la calidad de aplicadas a frutas frescas.

Tabla 15. Películas comestibles a base de lípidos, aplicaciones y funciones (ceras)

<b>Aplicación</b>	<b>Función de la película</b>	<b>Referencia</b>
<i>Cera de abeja</i>		
Mandarinas	Redujo la pérdida de peso y aportó brillo al fruto.	Hagenmaier y Baker (1993)
Albaricoques cv, <i>Canino</i>	Reducción en la pérdida de peso y firmeza.	Rojas <i>et al.</i> (2007)
Toronjas y naranjas	Reducción de la pérdida de peso.	Hagenmaier y Baker (1993)
<i>Cera de carnauba</i>		
Mangos	Redujo la tasa respiratoria y la senescencia.	Baldwin <i>et al.</i> (1995)
Cerezas	Redujo la deshidratación y la pérdida de firmeza.	Rojas <i>et al.</i> (2007)
<i>Cera de candelilla</i>		
Limonos	Efectiva barrera contra la humedad y altamente permeable al oxígeno y dióxido de carbono.	Domínguez <i>et al.</i> (2003)
Naranjas <i>Valencia</i>	Reducción en la pérdida de peso y firmeza.	Martínez-Jávega <i>et al.</i> (2006)

### **2.1.6 Películas y recubrimientos por materiales compuestos**

Para la formación de un recubrimiento comestible se necesita en primer lugar de una solución que pueda constituir una matriz estructural con suficiente cohesión (Debeaufort *et al.*, 1998). Cuando se combinan, lípidos, proteínas y polisacáridos que puedan interactuar física y/o químicamente, se pueden obtener recubrimientos con mejores propiedades. Sin embargo, la compatibilidad de los componentes es un punto importante a considerar cuando se trata de una mezcla de biopolímeros, ya que se puede alterar drásticamente el funcionamiento de los compuestos del recubrimiento (Rojas *et al.*, 2007).

Las películas comestibles constituidas por varios compuestos han sido diseñadas para aprovechar las propiedades funcionales complementarias de los distintos tipos de materiales

filmógenos comestibles y para limitar los inconvenientes propios de cada uno de ellos, algunos ejemplos de su aplicación se resumen en la tabla 16. Con el fin de mejorar el intercambio de gases, la adherencia y las propiedades de permeabilidad a la humedad, generalmente se combinan dos o más materiales. Dichas mezclas suelen realizarse mediante emulsión de uno de los componentes, generalmente un lípido, en el resto de los componentes, o mediante un recubrimiento multicapa, donde el recubrimiento se aplica mediante una técnica de laminación, en la cual se hace la inmersión de la fruta en una primera solución, generalmente la matriz, seguida por una inmersión en otro tipo de solución, ya sea de naturaleza lipídica o cálcica, entre otras (Baldwin *et al.*, 1995).

Según Schultz *et al.* (1949) que estudiaron la permeabilidad al agua de las pectinas desmetoxiladas y de compuestos lipídicos variados (ceras, ácidos grasos, etc.), es preferible formar dos capas sucesivas antes que aplicar una dispersión en agua.

Una película comestible multicomponente que contiene ácidos grasos y una cera natural como una barrera a la humedad fue descrita por Guilbert (1986), la película bicapa contenía una mezcla de ácidos palmítico y esteárico y cera de carnauba en una capa y gelatina o caseína en la otra. La preparación de la película implicó la emulsificación de materiales lipídicos en una dispersión proteica acuosa. La deposición de una delgada capa de la emulsión y secado. Las propiedades de barrera al agua fueron reportadas como buenas.

Wong *et al.* (1992) elaboraron una película comestible compuesta, la prepararon al 1% de quitosán, agregando 1g de polvo de quitosán en 100 ml de agua, fue adicionado 1% de ácido fórmico, la solución acuosa fue agitada vigorosamente. La solución fue filtrada a través de un filtro grueso de vidrio. A 50 ml de volumen de solución fue mezclada con varias cantidades de ácidos grasos en una licuadora por 10 minutos para los ácidos grasos de 12 de carbonos y una mayor longitud de la cadena, la mezcla se calienta por encima del punto de fusión de los lípidos. Las soluciones se vertieron en placas de metilmetacrilato para su fundición.

Tabla 16. Recubrimientos por materiales compuestos utilizados en frutas y hortalizas frescos

Tipo de fruta u hortaliza	Matriz de la película comestible	Plastificantes y aditivos	Función de la película comestible	Referencia
Manzanas frescas enteras	CPS y APS	Glicerol	Reducción del pardeamiento enzimático.	Sonti <i>et al.</i> (2003)
	CPS + CMC	Glicerol, AA, AO, CaCl <sub>2</sub>	Mantenimiento de la textura, reducción de la tasa respiratoria.	Lee <i>et al.</i> (2003)
	APS + cera de abeja	Glicerol, AE	Reducción del pardeamiento enzimático.	Pérez-Gago <i>et al.</i> (2003)
	Puré de manzana + pectina + CAB o aceite vegetal	Glicerol, AA, AC	Reducción de la pérdida de humedad y pardeamiento.	McHugh y Senesi (2000)
	Maltodextrina + MC	Glicerol, AA, SP, CaCl <sub>2</sub>	Disminución de la producción de etileno y pardeamiento enzimático.	Brancoli y Barbosa-Cánovas (2000)
	Carragenina, pectina, alginato, CM + MGA	AA, AC, CaCl <sub>2</sub> , NaCl	Disminución de la producción de CO <sub>2</sub> y etileno en un 50 y 90%.	Wong <i>et al.</i> (1994)
	Quitósán + CPS	CAB	Barrera a los gases, reducción de la pérdida de humedad y efecto antifúngico.	Assis y Pessoa, (2004)
	Alginato, gelano	Glicerol, aceite de girasol, N-cys	Reducción de la pérdida de humedad, mantenimiento del color original.	Rojas-Graü <i>et al.</i> (2006)
Fresas frescas enteras	CPS + caseína + pectina + agar	Glicerol, CaCl <sub>2</sub>	Reducción del crecimiento fúngico.	Vachon <i>et al.</i> (2003)
Papayas frescas enteras	Alginato, gelano	Glicerol, aceite de girasol, AA	Reducción de pérdida de humedad, reducción de pérdidas de AA y color.	Tapia <i>et al.</i> (2005)
Zanahorias frescas rebanadas	Caseinato	MGA	La resistencia al vapor de agua incrementó significativamente.	Avena-Bustillos y Krochta, (1993)
Papaya fresca rebanada	2 % alginato o 0.5% gelana	AA, glicerol	Favoreció la firmeza.	Rojas <i>et al.</i> (2007)

CPS: concentrado de proteína de suero lácteo; APS: aislado de proteína de suero lácteo; AA: ácido ascórbico; AO: ácido oxálico AC: ácido cítrico; CMC: carboximetilcelulosa; CaCl<sub>2</sub>: cloruro de calcio; N-cys: N-acetilcisteína AE: ácido esteárico; CAB: cera de abeja; MC: metilcelulosa; NaCl: cloruro de sodio; SP: sorbato de potasio; MGA: monoglicérido acetilado; CM: celulosa microcristalina.

---

**2.1.7 Aditivos**

Los aditivos son varios componentes que pueden ser agregados a las películas comestibles para mejorar sus propiedades mecánicas, de protección, sensoriales o nutricionales (Guilbert, 1986). Las películas representan una vía mediante la cual pueden incorporarse aditivos al alimento, con el fin de mejorar su conservación y/o sus propiedades físico, químicas y sensoriales (Solvía y Martín-Belloso, 2001). Guilbert (1986) menciona también que para incrementar las propiedades organolépticas o nutricionales en el alimento se puede incorporar agentes saborizantes, pigmentos o aditivos nutricionales en las películas comestibles o cubiertas.

Los aditivos pueden ser:

- a) Plastificantes (ceras, aceites, ácidos grasos).
- b) Surfactantes y emulsificantes (grasas, aceites).
- c) Conservadores químicos (ácido benzoico, ácido sórbico).
- d) Antimicrobianos
- e) Ácidos y sales
- f) Antioxidantes

La influencia que tendrá el aditivo en las propiedades de la película dependerá del grado de concentración, en la estructura química, el grado de dispersión en la película y la interacción con los polímeros (Okhamafe y York, 1984).

**2.1.7.1 Plastificantes**

Un plastificante es definido como una sustancia estable, no volátil, de alto punto de ebullición, cuando es adicionada a otro material cambia las propiedades físicas y/o mecánicas de dicho material (McHugh y Krochta, 1994a).

La característica quebradiza de las películas comestibles, es debido a las extensas fuerzas intermoleculares que se puede superar con la adición de un plastificante en la formulación. El plastificante reduce las fuerzas intermoleculares a lo largo de la cadena polimérica y los grupos polares (-OH) del plastificante desarrollan puentes de hidrógeno a lo largo de la cadena reemplazando las interacciones polímero-polímero (Torres, 1994).

Los plastificantes son compuestos orgánicos adicionados a la matriz polimérica de la película, antes del secado, para facilitar su manejo durante la elaboración e incrementar la humectabilidad, dureza, flexibilidad y resistencia al corte de la película terminada. Los plastificantes actúan reduciendo las fuerzas intermoleculares entre las cadenas del polímero y en consecuencia la cohesión del conjunto, lo cual facilita la elongación de la película, pero disminuye las propiedades de barrera frente a los gases, vapores y solutos (Baldwin *et al.*, 1997). El efecto del tipo de plastificante y concentración se verá reflejado en las propiedades mecánicas de las películas, dichas propiedades se describen ampliamente en el capítulo 4.

El glicerol es el más ampliamente reportado en la literatura como el mejor plastificante (McHugh y Krochta, 1994a), esto puede verse reflejado dada su hidrofiliidad y peso molecular respecto a los demás plastificantes. La hidrofiliidad de los plastificantes está en el siguiente orden glicerol > sorbitol > polietilenglicol (Gennadios *et al.*, 1996).

Generalmente se requieren plastificantes como el glicerol en las formulaciones a base de polisacáridos y proteínas, para aumentar la flexibilidad de los recubrimientos, al aumentar el volumen libre o 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 (McHugh y Krochta, 1994).

Según Guilbert (1986) los plastificantes que se utilizan en la industria de los alimentos incluyen:

- ◆ Monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos (miel, jarabes de glucosa o de glucosa-fructosa).
- ◆ Polioles (sorbitol, glicerol, polietilenglicol y los derivados del glicerol).
- ◆ Lípidos y derivados (ácidos grasos, monoglicéridos y sus derivados ésteres, acetoglicéridos, fosfolípidos y otros emulsionantes).

La concentración del plastificante puede variar del 10 al 60% (extracto seco) (Baldwin *et al.*, 1997; Bureau y Multon, 1985; Guzmán, 2003). Trezza y Krochta (2000) investigaron ácidos grasos como esteárico, palmítico y laúrico, adicionados a coberturas a base de celulosa para medir sus efectos sobre la disminución de la pérdida de humedad de fresas recubiertas. Los autores encontraron que a medida se aumentaba el contenido de estos compuestos en la

cobertura, la pérdida de humedad del producto fresco disminuía resultando el ácido esteárico el más efectivo para estos fines. Se han observado incrementos en las permeabilidades al vapor de agua, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de las películas a base de polisacáridos y proteínas, a medida que la concentración del plastificante aumenta (Park y Chinnan, 1995).

### **2.1.7.2 Surfactantes y emulsificantes**

Los surfactantes previenen la fractura de la película sobre el alimento, reducen la actividad de agua de las películas y la velocidad de pérdida de humedad en el producto, incluyen grasas, aceites, emulsificantes y polietilenglicol (Baldwin *et al.*, 1995). Los surfactantes Tweens son eficaces cuando se aplican en soluciones acuosas.

La Aw superficial influye sobre otros mecanismos de deterioro de los alimentos aunados a la pérdida de agua por evaporación. La Aw superficial baja retarda el crecimiento microbiano al igual que la velocidad, así como las reacciones químicas y enzimáticas en la superficie. Por esto, al recubrir un alimento con una película surfactante se esperaría que ayudara al control evitando esas reacciones de deterioro (Kester y Fennema, 1986).

Los emulsificantes son ésteres de ácidos grasos comestibles derivados de los vegetales o animales y fuentes de los polialcoholes como el glicerol, propilenglicol, sorbitol y sacarosa. 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 estos compuestos es la de promover y/o estabilizar una emulsión. Una emulsión es básicamente la dispersión de pequeñas gotas de una sustancia insoluble dentro de otro (Bosquez, 2003). Emulsionantes en los alimentos puede realizar una variedad de funciones, la más importante consiste en la reducción de la tensión superficial del agua en el aceite de las interfases, las interacciones con los componentes en almidón y proteínas y la modificación de la cristalización de grasas y aceites (Charalambus y Doxastakis, 1989).

La goma arábiga es un emulsificante efectivo que tiene las características de baja viscosidad, buena actividad de superficie y habilidad para formar una película protectora en una emulsión; ésta produce películas con las propiedades de un hidrocoloide y puede formar emulsiones estables con la mayoría de aceites, lo que favorece el control del BHL (balance hidrofílico-lipofílico). (Valle *et al.*, 2008). En la tabla 17 se describen algunos tipos de emulsificantes.

Tabla 17. Tipos de emulsificantes empleados en la elaboración de películas comestibles

<b>Emulsificante</b>	<b>Nombre comercial oxiteno</b>	<b>Tipo</b>	<b>Apariencia a 25 °C</b>	<b>Descripción</b>
Polisorbato 60 Monoesterato de polisorbitán polioxietinelado	Canarcel Tween 60	Tensoactivo no iónico	Pasta	Hidrofílico, soluble en agua y en solventes polares. Es insoluble en aceite mineral y en aceites vegetales.
Polisorbato 80 Monoesterato de polisorbitán polioxietinelado	Canarcel Tween 80	Tensoactivo no iónico	Líquido	Es el producto de la condensación de aproximadamente 20 moles de óxido de etileno con el Canarcel 80, se obtiene un producto líquido viscoso color amarillo.
Monoesterato de glicerilo	Glicepol 160 alimenticio	Mezcla de mono y diglicéridos, tensoactivo no iónico	Hojuelas	Producto obtenido de la reacción de esterificación entre los ácidos grasos esteárico y palmítico con la glicerina.
Monooleato de glicerilo	Glicepol 187	Mezcla de mono y diglicéridos, tensoactivo no iónico	Sólido	Es el producto obtenido de la reacción de esterificación entre los ácidos grasos oleico y palmítico con la glicerina. Se obtiene un producto de consistencia suave, color ligeramente amarillo.
Monoesterato de sorbitán Span 60	Canarcel 60	Tensoactivo no iónico	Hojuelas	Tensoactivo que se obtiene por la reacción de esterificación entre el sorbitol y el ácido esteárico.

Fuente: Oxiteno (2010)

### **2.1.7.2.1 Monoglicéridos**

Los acetoglicéridos o glicéridos acetilados son ésteres mono- o diglicéridos de ácidos grasos en los cuales al menos uno de los grupos hidroxilo de la molécula de glicerol está esterificado con una molécula de ácido acético (figura 12). Los monoglicéridos son los surfactantes utilizados más ampliamente en los alimentos, además tienen propiedades emulsificantes. Los utilizados más comúnmente son las acetopalmitinas, estearinas u olefinas, que se obtienen bien por acetilación directa con ácido acético de glicéridos parcialmente esterificados o por interesterificación de ciertos aceites y grasas con triacetina. Los acetoglicéridos tienen propiedades físicas inhabituales muy interesantes para su aplicación como películas comestibles. Son sólidos, no grasos al tacto, céreos, traslúcidos y extremadamente flexibles, con un sabor ligeramente amargo.

Se pueden preparar mezclas de acetoglicéridos saturados con un punto de fusión que varía entre 27 y 47°C aproximadamente; sin embargo, algunas mezclas de acetoglicéridos insaturados

funden a unas temperaturas tan bajas como por ejemplo  $-20^{\circ}\text{C}$ . Contrariamente a los lípidos, que en estado sólido sólo pueden estirarse hasta un máximo del 102% de su longitud inicial, una película de monoesterato de glicerol acetilado (acetomonoestearina) puede estirarse hasta un 800% de su longitud original.

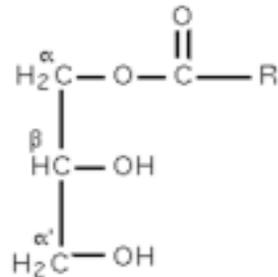


Figura 12. Estructura química general de un monoglicérido

Fuente: Zamora (2008)

Al contrario que la mayoría de las grasas, los acetoglicéridos son extremadamente estables en la forma cristalina polimórfica alfa. Esta forma polimórfica, junto con la formación de una red desordenada de cristales en forma de pelota, es la responsable de la excepcional flexibilidad de ciertos acetoglicéridos. La estabilidad física y química (estabilidad a la hidrólisis o a la oxidación, por ejemplo), de los acetoglicéridos es similar a la observada en los triglicéridos de fórmula química comparable.

Por sus particulares propiedades reológicas (flexibilidad, plasticidad, etc.) los acetoglicéridos han sido añadidos a veces a películas o recubrimientos de grasas sólidas o de ceras a fin de evitar la formación de fracturas, especialmente durante el almacenamiento a temperaturas bajas (Guilbert, 1986). Debido a su flexibilidad inherente, los monoglicéridos acetilados son algunas veces incorporados dentro de una cubierta de cera para impartir plasticidad adicional sin una disminución de la resistencia de la cubierta al transporte de humedad (Martín-Polo, 1997).

### 2.1.7.3 Agentes antimicrobianos

La pérdida de la calidad que algunas veces se produce en las frutas durante el tiempo que media entre la cosecha y el consumo, puede darse a cambios físicos, químicos, enzimáticos o microbiológicos. Las consecuencias de la pérdida de calidad por acción de los microorganismos suponen un riesgo para el consumidor debido a la posible presencia de toxinas o microorganismos patógenos, además de las pérdidas económicas causadas por la alteración (Raybaudi-Massilia *et al.*, 2006). Los agentes antimicrobianos son sustancias activas o

preparaciones que contienen una o más sustancias activas, que se utilizan con la intención de destruir, impedir, prevenir la acción o ejercer efecto controlador de algún microorganismo perjudicial, por medios químicos o biológicos (Quintavalla, 2002; Trejo *et al.*, 2001). Cuando un agente antimicrobiano ha sido incorporado dentro del envase comestible, éste retarda el crecimiento superficial de bacterias, levaduras y mohos y en algunos casos minimiza el crecimiento de esporas y microorganismos patógenos en un amplio rango de productos (Quintavalla, 2002; Rojas de Gante, 2001; Weiss, 2003; Cagri, 2004).

Los *factores* que influyen en la efectividad del envase comestible antimicrobiano son:

- a) Condiciones de proceso.
- b) Temperatura de almacenamiento.
- c) Características de los alimentos.
- d) Coeficientes de transferencia de masa.
- e) Propiedades físicas del material de envasado.
- f) Factor costo.

Los *prerrequisitos* esenciales de los envases comestibles antimicrobianos son (Bureau y Multon, 1985; Krochta, 1997; Baldwin *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2003; Guilbert y Biquet, 1996; Xu, 2005; Quintavalla, 2002):

- ◆ Ser comestible, no ser tóxico.
- ◆ Que su uso sea acorde a las buenas Prácticas de Manufactura (grado alimentario, preparación y manipuleo como un ingrediente alimentario y uso en cantidades no mayores a las necesarias para llevar a cabo su función).
- ◆ Proveer apariencia satisfactoria (aroma, sabor, color y masticabilidad) al alimento que se le aplica.
- ◆ Deben ser solubles o dispersables en la boca, en el agua o en el aceite empleado en la preparación del alimento.
- ◆ Estabilidad bioquímica, fisicoquímica y microbiana, antes, durante y después de aplicarlo al producto.
- ◆ Que su preparación requiera de tecnología simple y bajos costos de materiales.

*Aplicaciones:*

Actualmente, los antimicrobianos que han adquirido mayor importancia son los naturales (tabla 18), debido a que la percepción del consumidor como “amigables”, ya que estos componentes presentes en alimentos e ingredientes alimenticios o formados en respuesta al estrés físico o químico, pueden contribuir a extender la vida de anaquel de otros alimentos procesados y sin procesar (Beuchat, 2001).

Tabla 18. Antimicrobianos en envases comestibles y biodegradables

<b>Clase</b>	<b>Antimicrobiano</b>	<b>Polímero / acarreador</b>	<b>Microorganismo blanco</b>
Ácidos orgánicos y anhídricos	Ácido propiónico, benzoico, sórbico, acético, láctico, málico, laúrico, <i>p</i> -aminobenzoico, sórbico anhídrido, benzoico anhídrido, benzoato de sodio, sorbato de potasio, sorbato de calcio.	Envases comestibles <sup>1</sup> , MC / HPMC/ ácido graso, MC/ ácido palmítico, MC/ quitosán, LLDPE, CMC / papel, LDPE, almidón / glicerol, PE-co-MA.	Mohos
Gases	Dióxido de sulfuro, dióxido de cloro, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	Varias poliolefinas, recubrimiento de hidróxido de calcio, metabisulfito de sodio.	Bacterias
Metales	Plata	Varias poliolefinas.	Bacterias
Fungicidas	Benomyl, imazalil	Ionómero, LDPE.	Mohos
Bacteriocinas	Nisina, pediocina, lacticina.	Envases comestibles <sup>1</sup> , celulosa, GT, HPMC, AH, LDPE, PE, PVC, nylon, recubrimiento de silicio.	Bacterias Gram positivas***
Enzimas	Lizosima, glucosa, oxidasa	Acetato de celulosa, envases comestibles <sup>1</sup> , PAS, PVOH, nylon	Bacterias Gram positivas***
Agentes quelantes	EDTA	Envases comestibles <sup>1</sup>	Bacterias Gram positivas***
Espicias	Cinámica, cafeína, <i>p</i> -cumárico.	Nylon /PE, celulosa.	Mohos, levaduras, bacterias
Extractos naturales	Aceites esenciales de semillas de toronja, polvo de caña.	LDPE, celulosa, envases comestibles <sup>1</sup> .	Mohos, levaduras, bacterias
Parabenos	Propilparabeno, etilparabeno.	Arcilla cubierta de celulosa, LDPE.	Mohos

<sup>1</sup>Envases comestibles de: quitosán, alginato, proteína de maíz, proteína aislada de suero de leche (PASL), almidón, proteína aislada de soya (PAS), gluten de trigo (GT) o albúmina de huevo (AH). LLDPE: polietileno de baja densidad lineal, LDPE: polietileno de baja densidad, MC: metilcelulosa, HPMC: hidroxipropilmetilcelulosa, CMC: carboximetilcelulosa, PE: polietileno, MA: ácido metacrílico, PVOH: alcohol polivinílico, PVC: cloruro de polivinilo, \*\*\*Combinación de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) y bacteriocinas / enzimas con actividad de agua contra bacterias Gram-negativas.

Fuente: Weiss (2003); Quintavalla (2002)

Según Raybaudi-Massilia *et al.* (2006) los agentes antimicrobianos pueden ser divididos en dos grandes grupos: a) sintéticos b) naturales.

a) Agentes antimicrobianos sintéticos: ácidos orgánicos y ésteres.

- ◆ Ácido cítrico (frutas cítricas).
- ◆ Ácido málico (frutas y vegetales).
- ◆ Ácido tartárico (uvas y piñas).
- ◆ Ácido benzoico (arándanos, frambuesas, ciruelas, manzanas y fresas).
- ◆ Gases
- ◆ Fungicidas
- ◆ Agentes quelantes
- ◆ Parabenos

b) Agentes antimicrobianos naturales.

En estado natural, estos compuestos pueden desempeñar el papel de prolongadores de la vida útil de los alimentos.

Los sistemas antimicrobianos naturales pueden clasificarse por su origen animal, vegetal y microbiano. El primero de estos grupos incluye proteínas, enzimas líticas tales como lisozima, hidrolasas tales como lipasas y proteasas (Beuchat, 2001) y polisacáridos como el quitosán (Davidson y Zivanovic, 2003). El segundo grupo incluye compuestos fenólicos provenientes de cortezas, tallos, hojas, flores, ácidos orgánicos presentes en frutos y fitoalexinas producidas en plantas (Beuchat, 2001), mientras que el tercer grupo incluye compuestos producidos por microorganismos, por ejemplo, las bacteriocinas.

En la tabla 19 se describen algunos antimicrobianos aplicados en frutas frescas enteras y rebanadas.

Tabla 19. Antimicrobianos aplicados en frutas frescas enteras y rebanadas

<b>Antimicrobiano</b>	<b>Sustrato</b>	<b>Efecto</b>	<b>Concentración utilizada</b>	<b>Referencia</b>
Carvacrol y ácido cinámico	Melón fresco cortado y kiwi	Reducción de los recuentos de microorganismos viables en kiwi y extensión de la fase lag de la flora microbiana natural en melón	1 mM	Roller y Seedhar (2002)
Hexanal	Manzanas frescas cortadas	Inhibición del crecimiento de bacterias aerobias mesófilas, psicrófilas, mohos y levaduras.	100g	Lanciotti <i>et al.</i> (1999)
Hexanal y trans-2-hexenal	Manzanas frescas cortadas	Extensión de la vida útil de la fruta por inhibición del crecimiento de la flora nativa y prolongación de la fase lag de levaduras inoculadas	diferentes concentraciones fueron evaluadas	Corbo <i>et al.</i> (2000)
Hexanal, (E)-2-hexenal y hexil acetato	Manzanas frescas cortadas	Efecto bactericida contra <i>L. monocytogenes</i> y extensión de la fase lag de <i>E. coli</i> y <i>S. enteritidis</i>	150, 150 y 20 de hexanal, hexil acetato y (E)-2-hexenal respectivamente	Lanciotti <i>et al.</i> (2003)
Vapores de ácido acético glacial, peróxido de hidrógeno y dióxido de cloro	Manzanas enteras	Reducción de la población de <i>E. coli</i> inoculada en 3.5 log <sub>10</sub> ufc/g usando ácido acético en vapor, reducciones 2 log <sub>10</sub> usando soluciones de peróxido de hidrógeno o dióxido de cloro y reducción de 4.5 log <sub>10</sub> usando dióxido de cloro en forma gaseosa	varias	Sapers <i>et al.</i> (2002)
Vapores de ácido acético	Uva de mesa	Reducción de hasta 94% del deterioro		Ayala <i>et al.</i> (2005)
Peróxido de hidrógeno como solución de lavado	Manzanas enteras	Reducción de la población de <i>E. coli</i>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (5%)	Sapers <i>et al.</i> (2002)
Peróxido de hidrógeno como solución de lavado	Melón entero y cortado	Reducción de la población de <i>Salmonella</i> spp.	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (2.5% y 5%)	Ukuku (2004)
Peróxido o, nisina, lactato de sodio y ácido cítricos aplicado como soluciones de lavado.	Melón entero y cortado	Reducciones en la transferencia de <i>E. coli</i> O157:H7 y <i>L. monocytogenes</i> del fruto entero al fruto picado	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (2.5%) o una mezcla de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (1%) + nisina (25 g/ml) + lactato de sodio (1%) + ácido cítrico (0.5%)	Ukuku <i>et al.</i> (2005)

---

**2.1.7.4 Antioxidantes**

El pardeamiento enzimático constituye una de las principales causas de deterioro en frutas cortadas pudiendo ser evitado mediante la incorporación de antioxidantes en la formulación de las coberturas. Entre los antioxidantes normalmente usados en productos frescos para evitar el oscurecimiento superficial se encuentran, el ácido ascórbico y sus sales, 4-hexilresorcinol y algunos aminoácidos que contienen azufre como la cisteína y el glutatión, entre otros. Dichos compuestos pueden usarse solos o en combinación con otros aditivos, tales como antimicrobianos y agentes reafirmantes de la textura, con el fin de aumentar la vida útil de las frutas cortadas (Rojas *et al.*, 2007).

Baldwin *et al.* (1995) reportaron que el pardeamiento enzimático de las manzanas troceadas se evitó con más efectividad cuando el ácido ascórbico fue incorporado como parte del recubrimiento comestible que por inmersión directa de los trozos en una solución acuosa conteniendo dicho compuesto antioxidante (Rojas *et al.*, 2007).

---

**3. TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES**

**3.1. Proceso de formación de películas y recubrimientos**

La formulación de envolturas o de películas comestibles implica el empleo de al menos un constituyente capaz de formar una matriz con la suficiente cohesión y continuidad. Para ello se precisan compuestos que permitan formar estructuras continuas, cristalinas o amorfas, tales como polímeros hidrófobos, grasas, azúcares, etc. (Bureau y Multon, 1985). En dichas estructuras, la formación de fuerzas intermoleculares es de vital importancia para que la película comestible proteja al alimento adecuadamente.

En el caso de envolturas en las cuales la película se aplica directamente sobre el alimento, existen dos fuerzas operando: cohesión y adhesión (Guilbert, 1986). En el caso de los recubrimientos, cohesión entre las moléculas del material del recubrimiento y adhesión entre el recubrimiento y el alimento (Bureau y Multon, 1985).

La cohesión es el resultado de la habilidad del polímero a formar uniones moleculares fuertes y numerosas entre las cadenas poliméricas, obstaculizando su separación (Pérez-Gago *et al.*, 2003). El grado de cohesión influye en las propiedades de barrera y mecánicas de las películas, de tal forma que la cohesión estructural alta se manifiesta por la reducción en la flexibilidad, porosidad y permeabilidad a los gases y solutos.

En general, la mayor cohesión se obtiene con polímeros polares ordenados, de cadena larga, que precipitan en forma cristalina. Siempre es preferible emplear diluciones medias resultantes de un compromiso entre la solvatación y la extensión óptima de las moléculas de polímero por una parte y una buena viscosidad inicial, por otra. Una velocidad de evaporación del solvente y/o una temperatura excesivas pueden traducirse en una cohesión insuficiente debido a la inmovilización prematura de las moléculas de polímero. La adhesión de la envoltura alimentaria se ve favorecida por una aplicación en caliente (Guilbert, 1986).

Cuando las películas proteicas se exponen a un calor excesivo se afecta la cohesión ya que las moléculas son inmovilizadas prematuramente provocando defectos como perforaciones y fractura prematura de la película (Guzmán, 2003).

El grado de cohesión depende de los siguientes factores (Bureau y Multon, 1995):

- La estructura química del polímero, especialmente de su fuerza molecular.
- Geometría, peso molecular y tipo de posición de sus grupos laterales.
- La presencia de aditivos plastificantes y agentes ligantes en la formulación.
- Del tipo de proceso y las condiciones de elaboración (temperatura, presión, la naturaleza del solvente utilizado, técnica de evaporación del solvente, técnica de aplicación, etc.).
- El grado de disolución en el que se aplica.
- El espesor final de la película.

Por lo tanto, la excesiva evaporación o enfriamiento del solvente puede producir un recubrimiento no cohesivo, debido a la inmovilización prematura de las moléculas del polímero (Pérez-Gago *et al.*, 2003; Guzmán, 2003).

Todos estos factores, se encuentran directamente relacionados con el proceso de formación de la película comestible. De este modo, se puede constatar que el mecanismo mediante el cual se crea la estructura protectora es fundamental para la consecución del objetivo perseguido. En consecuencia el proceso de formación de la película tendrá una gran influencia en sus características finales (Bureau y Multon, 1995).

La formación de envases comestibles generalmente involucra asociaciones inter e intramoleculares o entrecruzamiento de las cadenas del polímero, formando una red tridimensional semirígida que atrapa e inmoviliza el solvente. Los mecanismos por los que se pueden formar son:

*-Coacervación simple:* en la coacervación simple se consigue la formación de la película a partir del cambio de fase o precipitación de un hidrocoloide en dilución acuosa mediante modificación de alguna propiedad del disolvente (pH, carga eléctrica, etc), o por adición de otro disolvente en el cual el polímero es insoluble. Después de la evaporación del solvente por secado se formará la red o película mediante las interacciones entre las diferentes cadenas del hidrocoloide y los aditivos (Martín-Polo, 1997).

Un hidrocoloide dispersado en agua es precipitado o experimenta un cambio de fase después de la evaporación de una parte del solvente (secado); después de la adición de un no-electrolito hidrosoluble, en el cual el hidrocoloide es insoluble (etanol); o después del ajuste del pH con la adición de un electrolito, el cual induce un entrecruzado (Bureau y Multon, 1985).

-*Coacervación compleja*: se mezclan dos soluciones hidrocoloides (dos macromoléculas) con carga eléctrica opuesta que se neutralizan entre ellas, causando la interacción y precipitación del complejo polimérico. Este proceso de formación está muy extendido en la industria farmacéutica pero presenta pocas aplicaciones alimentarias (Martín-Polo, 1997).

-*Eliminación del disolvente*: se basa en la formación de una película sólida mediante la evaporación del solvente en el que se aplica. Para obtener una película con unas propiedades mecánicas adecuadas es necesario ajustar correctamente la temperatura y velocidad de secado.

-*Fusión y solidificación*: es una técnica de formación empleada en películas de naturaleza lipídica. Consiste en el calentamiento de la sustancia empleada por encima de su punto de fusión y su posterior enfriamiento. Al igual que cuando se evapora el disolvente, es preciso regular la velocidad de enfriamiento con el fin de evitar agrietamientos indeseados en la película.

-*Gelificación o coagulación térmica*: ésta es una técnica utilizada en películas de naturaleza proteica que consiste en calentar la disolución de la macromolécula y a continuación enfriarla para su gelificación o precipitación (Kester y Fennema, 1986).

La insolubilidad, cuando es deseada, y las propiedades de barrera y de retención de solutos pueden incrementarse a veces gracias a la incorporación de agentes que provocan la formación de puentes, de iones di y trivalentes o mediante el empleo de condiciones desnaturalizantes como calor, irradiación, etc.

### **3.2. Técnicas de aplicación**

Las películas comestibles se elaboran previo a la aplicación en el alimento, mientras que el recubrimiento comestible se aplica por distribución con pincel, pulverización, inmersión, centrifugación, fluidización, frotación y aspersion, entre otros (Pérez-Gago *et al.*, 2003; Bureau y Multon, 1995, Guilbert, 1986).

Cualquiera de las técnicas de formación expuestas se pueden utilizar con múltiples formas de aplicación. Sin embargo, el modo de aplicación de una película comestible depende en gran medida del tipo de producto que se desee recubrir, los métodos se exponen a continuación:

- **Inmersión:** el producto se coloca en un recipiente en el que se sumergen las frutas. El recubrimiento es instantáneo, razón por la cual se pueden sacar y escurrir.

La inmersión se realiza en tanques que contienen el recubrimiento, por lo tanto, es necesario cuidar que el alimento sea cubierto completamente; a continuación se procede a un escurrido y secado con aire, con lo cual una capa delgada es formada en la superficie del producto. Este método se caracteriza por provocar el entrecruzamiento en los enlaces hidrocoloides y es el más usado para frutas, vegetales y productos cárnicos (figura 13) (Pérez y Báez, 2003; Bureau y Multon, 1995).



Figura 13. Equipo de inmersión para frutas y vegetales

Fuente: Merino (2000)

- **Aplicación por espuma:** se recubre al fruto aplicando emulsiones en forma de espuma obteniéndose un buen recubrimiento, en donde el alimento pasa por una banda transportadora la cual cuenta con unos cepillos giratorios con inyección interna de la espuma para hacer una distribución homogénea.
- **Aspersión:** el producto se asperja sobre el fruto y se uniformiza la película al pasar sobre rodillos con cerdas continuando después a la selección de secado con el aire caliente. Es el más recomendable para superficies planas; actualmente se utilizan aplicadores de alta presión (60-80 psi), los cuales permiten menor gasto del material de cubierta y la obtención de recubrimientos uniformes (Pérez-Gago *et al.*, 2003; Bureau y Multon, 1995).

El equipo que se muestra en la figura 14, que siendo del tipo de las que incorporan una plataforma de rodillos giratorios, sobre la que se desplaza el fruto, y sobre el que a su vez se proyecta un líquido de tratamiento, consistente en cera líquida con una serie de aditivos germicidas y/o conservantes, esencialmente se caracteriza porque los medios de aplicación del producto líquido son estáticos, materializándose en una pluralidad de boquillas convenientemente asociadas a una barra dispensadora, alimentada mediante una electrobomba establecida entre dicha barra dispensadora y un depósito suministrador de producto, habiéndose previsto que la extremidad libre de la citada barra dispensadora esté relacionada con el depósito mediante una conducción de retorno, en la que se establece a su vez una válvula de retención, de paso regulable, con la que se regula a su vez la presión y caudal a la salida de las citadas boquillas.

Para una correcta aplicación es necesaria la distribución uniforme de la cera mediante cepillos blandos, rodillos de fieltro o alguna otra manera para asegurar la cobertura total del fruto con un espesor constante (Merino, 2000).



Figura 14. Aplicación de recubrimientos comestibles por aspersion

Fuente: Merino (2000)

- **Frotación:** el método de frotación utiliza aire comprimido (<5 psi), que es aplicado en líneas de envasado que poseen rodillos en movimiento, como se muestra en la figura 15, es necesario romper la estructura del recubrimiento en forma de espuma, para obtener una distribución uniforme en la superficie del producto, posteriormente, se remueve el exceso del recubrimiento con cepillos colocados debajo de los rodillos. El recubrimiento contiene poca agua para facilitar el proceso de secado (Pérez-Gago *et al.*, 2003; Bureau y Multon, 1995).



Figura 15. Método de frotación

Fuente: Ingemaq (2007)

- **Aplicación manual:** se utiliza generalmente en pruebas piloto en donde con una brocha o pincel los recubrimientos comestibles son aplicados sobre el producto.

Cuando es necesario el escurrido, se practica en caliente para disminuir la viscosidad de la envoltura haciéndola pasar a través de un tapiz vibrante, por un escurrido centrífugo o por ventilación forzada. La solidificación del producto de cobertura o de la película se obtiene por secado o enfriamiento. En general, por razones industriales es deseable una rápida solidificación de la película. No obstante es indispensable regular la temperatura de enfriamiento, o las condiciones de secado de forma que la película solidifique, aunque no muy rápidamente.

Las películas preformadas independientemente sin el soporte del alimento pueden fabricarse según las técnicas empleadas comúnmente para ciertos materiales y para las películas no comestibles, tales como la extrusión, el moldeado o el laminado. La técnica más corriente se basa en la formación de la película mediante secado de una solución en un secador de tambor.

La preparación del soporte (el alimento en el caso de una envoltura o el molde en el caso de una película aislada) es importante. Para el moldeado debe evitarse la adhesión de la película, siendo a veces necesario el empleo de agentes para desmoldar. Para el revestimiento directo, el buen <<mojado>> del soporte es a veces difícil de conseguir, por ejemplo, en el empleo de un material hidrófobo para la protección de un interior hidrófilo o viceversa. Siempre es posible utilizar un agente tensoactivo, colocado sobre el soporte o incorporado al sistema formador de la película (Guilbert, 1986).

---

**4. PROPIEDADES DE LAS PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES****4.1. Propiedades físicas de recubrimientos comestibles****4.1.1. Color**

Esta propiedad está directamente relacionada con la apariencia de la película comestible. La opacidad es una medida del “aspecto lechoso” de la película y originado por la luz dispersa por la presencia de imperfecciones de la superficie o por la falta de homogeneidad de la película, lo cual es debido en muchas ocasiones a la incompleta disolución de aditivos. Los ingredientes utilizados para la elaboración del recubrimiento o película comestible, los aditivos adicionados y el propio proceso de envejecimiento, son los principales factores que pueden afectar dicha propiedad (Alvarado y Aguilera, 2001).

Métodos rápidos, simples y objetivos de los atributos de color, muy empleados en el control de calidad son las determinaciones triestímulo desarrollados por la CIE (Comisión Internationale de l’Eclairage) usando colorímetros tales como Minolta, Gardner y Hunterlab (Wills *et al.*, 1999).

A través del módulo de medida triestímulo  $L^* a^* b^*$ , se pueden relacionar la respuesta del ojo humano al color. Este sistema define un espacio cromático en coordenadas rectangulares, donde  $L^*$  indica los grados de luminosidad, de 0 para el negro a 100 para blanco;  $a^*$  indica el grado de rojo ( $+a^*$ ) y de verde ( $-a^*$ ); y  $b^*$  indica el grado de amarillo ( $+b^*$ ) y de azul ( $-b^*$ ). La diferencia total de color ( $\Delta E$ ) es obtenida a partir de la ecuación (1):

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^{2+} \Delta b^2)^{0.5} \quad [1]$$

**4.1.2. Viscosidad**

Es la medida de la resistencia interna que ofrece un fluido a su deformación. Cualitativamente representa la resistencia al flujo de un material; cuantitativamente se define como el cociente entre el esfuerzo de cizallamiento y la velocidad de cizallamiento en flujo estacionario. La viscosidad es una propiedad fisicoquímica que influye en la textura de un alimento, el productor puede reconocer el comportamiento del producto, lo cual es importante para el control de procesos y decisivo para la calidad del producto (Alvarado y Aguilera, 2001).

Es importante tener en cuenta las propiedades gelificantes de polisacáridos para la obtención de películas comestibles ya que la viscosidad influye tanto en el espesor de la cubierta final así como la facilidad de aplicación al producto. A medida que la viscosidad de la solución aumenta, el espesor del recubrimiento será mayor, la manejabilidad de la solución en cualquier técnica de aplicación será complicada. Navarro (2007) evaluó el efecto del contenido de cera de abeja del recubrimiento en la calidad postcosecha de ciruelas `Angeleno`, las formulaciones incluyeron HPMC, cera de abeja, glicerol y ácido esteárico, se formularon cuatro recubrimientos con distinto contenido en cera de abeja (0%, 20%, 40% y 60% en base seca), la viscosidad de los recubrimientos varió de 7 a 30cp de acuerdo con el contenido en HPMC de los mismos.

Algunas características de dispersiones de polisacáridos se citan a continuación. Los gránulos de almidón son solubles en agua fría, si se calienta los gránulos de almidón se hidratan y se hinchan. El almidón se solubiliza, formando una matriz intergranular, lo que produce un incremento de la viscosidad, las dispersiones de almidón son viscosas y esta viscosidad varía con la temperatura. Las soluciones de los alginatos son muy viscosas, la viscosidad disminuye conforme aumenta la temperatura y es sólo ligeramente influenciada por los cambios de pH en el intervalo 4-10. Para el alginato, a concentraciones de calcio reducidas (sustitución de menos de un 35% de sodio en una disolución de alginato al 1%) la disolución de alginato tiene un comportamiento tixotrópico, fluye como un líquido al agitarla y se espesa, o forma un gel débil, al mantenerla en reposo. En general todas las disoluciones de CMC, son pseudoplásticas. Las pectinas normales producen geles óptimamente cuando su concentración es de alrededor del 1%; cuando los geles son sometidos a ligera presión mecánica son capaces de comportarse como fluido plástico. La viscosidad de las soluciones de carragenina, como en todas las macromoléculas lineales con grupos cargados, la viscosidad se incrementa casi de forma exponencial con la concentración.

### **4.1.3. Punto de fusión**

El punto de fusión se define como la temperatura a la que se produce la transición de fase del estado sólido al líquido a presión atmosférica normal (Ockerman y Hansen, 2000).

Cuando un gel se calienta muy lentamente cerca del punto de fusión, provoca cambios en la estructura del gel que afecta la fusión, el punto de fusión de los geles es máximo cuando han sido madurados durante largos tiempos y períodos a una temperatura próxima al punto de fusión. Después de este tiempo de maduración, el enfriamiento del gel hasta una temperatura

baja, lo cual aumenta en gran manera la rigidez, y no varía el punto de fusión. La estructura formada a la alta temperatura de maduración controla el punto de fusión y persiste durante el período en el cual se forma y se rompen enlaces si el gel se enfría y se calienta de nuevo.

En el caso de las ceras esta es una propiedad importante ya que se debe considerar la temperatura de fusión para la elaboración del recubrimiento.

#### **4.1.4. Absorción de agua**

La capacidad de absorción de agua (WIC) de las películas comestibles se define como la máxima cantidad de agua (en ml) que absorbe 1 g de muestra en equilibrio y se expresa como: (Wills *et al.*, 1999).

$$WIC: \text{ml de agua absorbidos} / \text{g de muestra} \quad [2]$$

Para películas y recubrimientos elaborados a partir de proteínas y polisacáridos es importante determinar la absorción de agua ya que durante el almacenamiento se podrían suscitar problemas, por ejemplo, de microorganismos por un exceso de absorción de agua y en donde ya no se tendría la película que originalmente se habría elaborado.

#### **4.1.5. Grado de hinchamiento**

El hinchamiento puede definirse como la capacidad de penetración de las moléculas del disolvente en el polímero, dependiendo del grado de entrecruzamiento del polímero, de su naturaleza y de la naturaleza del disolvente, entre otros factores (Reillo *et al.*, 2000). El agua es transferida a través de la película debido a la diferencia de potencial químico entre dos compartimientos, pero las moléculas de agua sorbidas afectan las propiedades de plastificación, hinchamiento y solubilidad, que pueden modificar la eficiencia de la barrera de la misma (Chang *et al.*, 2000).

En el proceso de hinchamiento que sigue a la penetración de agua en la matriz son propuestos los siguientes tres pasos: (paso 1) difusión de las moléculas de agua en la red del polímero, (paso 2) relajación de las cadenas del polímero con hidratación, y (paso 3) expansión de la red del polímero dentro de un medio de agua alrededor, dependiendo de la relajación. El hinchamiento puede causar cambios conformacionales en la microestructura de la película que

no sólo puede incrementar la sorción de humedad, sino que también abre la estructura del polímero llevando a un incremento el coeficiente de transmisión del vapor de agua (WVTR) y por consiguiente en la permeabilidad al vapor de agua (WVP). Este hinchamiento resulta en la desviación del comportamiento Fickiano (Wiles *et al.*, 2000).

#### **4.1.6. Técnicas para la evaluación de las propiedades físicas**

##### **4.1.6.1. Color**

Hay dos tipos principales de instrumentos para medir el color de superficies opacas: espectrofotómetros de reflectancia y colorímetros.

➤ **Espectrofotómetros.**

El instrumento básico para medir los factores de reflectancia espectrales, que, genéricamente, se denominan como reflectancia, es el espectrofotómetro. La reflectancia de manera general se expresa como un porcentaje y usualmente se construyen registros gráficos del %R y la longitud de onda en la ordenadas en el segmento visible desde 350 a 400 [nm] (violeta) hasta 700 a 750 [nm] (rojo). El funcionamiento de un espectrofotómetro consiste básicamente en iluminar la muestra con luz blanca y calcular la cantidad de luz que refleja dicha muestra en una serie de intervalos de longitudes de onda (Alvarado y Aguilera, 2001).



Figura 16. Espectrofotómetro

Fuente: López (2003)

➤ **Colorímetros triestímulo.**

Estos colorímetros han sido diseñados para que los valores de reflectancia sean procesados directamente para entregar como respuesta los valores triestímulo. El principio de funcionamiento básicamente es el mismo que los espectrofotómetros.

La muestra es irradiada por un iluminante de luz policromática a 45° y la luz reflejada se pasa a través de tres filtros y es medida por una fotocelda; la combinación de la distribución espectral de energía del iluminante, las características de transmisión de los filtros y la respuesta espectral de la fotocelda hacen que estas tres señales sean procesadas por el equipo a valores triestímulos X, Y y Z.

#### **4.1.6.2. Medición de la viscosidad**

La caracterización de las propiedades reológicas depende del tipo específico de fluido. Así, para un fluido newtoniano, a una presión y temperatura dadas, únicamente es necesario conocer un parámetro, la viscosidad, y por tanto, una sola medida es suficiente. Sin embargo, en el caso de un fluido no newtoniano se debe obtener una curva de flujo, es decir, la dependencia funcional entre el esfuerzo de cizalla y la velocidad de cizalla. En este sentido, se debe distinguir entre viscosímetros y reómetros, ya que mientras que los primeros aparatos nos permiten medir únicamente la viscosidad, en los segundos pueden medirse otra serie de funciones materiales como las mencionadas anteriormente.

Los viscosímetros del tipo rotacional y los del tipo de conducto, son los principales equipos para la determinación de la viscosidad. En cuanto a los viscosímetros rotacionales se pueden encontrar cuatro tipos fundamentales: de cilindros concéntricos, de cono y plato, de platos paralelos y de mezcla. En los viscosímetros de rotación, la fuerza requerida para rotar un objeto inmerso en un fluido puede indicar la viscosidad del fluido. El más común de los viscosímetros de rotación son los del tipo de Brookfield que determina la fuerza requerida para rotar un disco en un fluido a una velocidad conocida.

#### **4.1.6.3. Punto de fusión**

☆ Método de Fisher-Johns:

La placa caliente se compone de dos piezas de metal de conductividad térmica diferente, que se calientan eléctricamente. Está hecha de manera que el gradiente de temperatura sea casi lineal en toda su longitud. La temperatura de dicha placa puede variar de 283 a 573 K gracias a un dispositivo especial de lectura de la temperatura que tiene un cursor con un índice y una regleta graduada, especialmente concebido para dicha placa, figura 17. Para determinar un punto de fusión se deposita una fina capa de sustancia directamente sobre la placa caliente. En unos

segundos, se forma una fina línea de división entre la fase fluida y la fase sólida. Leer la temperatura a la altura de dicha línea, colocando el índice frente a esta última.

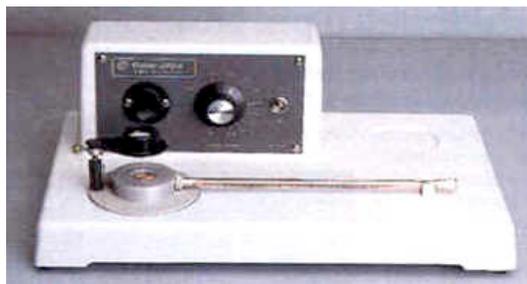


Figura 17. Fisher-Johns  
Fuente: López (2003)

☆ Tubo de Thiele.

Introducir en un tubo capilar una pequeña cantidad de muestra y comprimirla firmemente. Calentar dicho tubo al mismo tiempo que un termómetro y ajustar el aumento de temperatura a poco menos de 1 K por minuto, durante la fusión real. Tomar nota de las temperaturas correspondientes al comienzo y al final de la fusión, figura 18 (López, 2003).

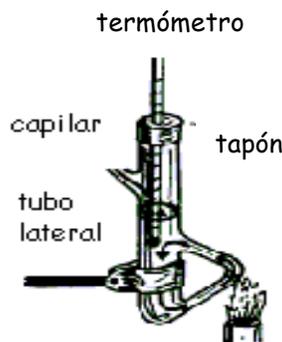


Figura 18. Tubo de Thiele  
Fuente: López (2003)

**4.1.6.4. Absorción de agua**

*Determinación de la capacidad de retención de agua por centrifugación.*- Se utiliza un sistema de cilindros de acrílico, A, B (con membrana) y C, se colocan en un tubo de centrifuga con el gel para realizar la determinación de la capacidad de retención de agua por centrifugación (figura 19). Pesar los cilindros A y B. El proceso para la determinación es el siguiente: colocar una muestra sobre la membrana del cilindro B. Volver a pesar los cilindros (A y B) con la muestra. Ubicar dentro del tubo de centrifuga colocando en primer lugar el cilindro C. Luego de centrifugar

por 10 minutos a máxima velocidad volver a pesar los cilindros (A y B) con el gel. Calcular la masa de agua perdida (diferencia en peso) en relación a la masa de gel y expresarlo como %.

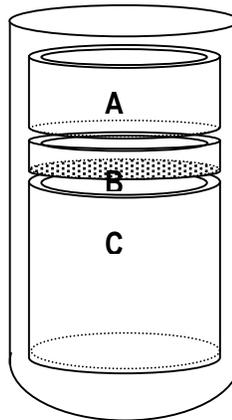


Figura 19. Determinación de la capacidad de retención de agua por centrifugación

Fuente: Segundo (2005)

#### **4.1.6.5. Grado de hinchamiento**

La muestra de la película se vacía en cajas Petri y se pone a peso constante, se toma con unas pinzas una muestra de película (2cm de lado, espesor de 30-40µm) y se pesa en la balanza analítica, la muestra se sumerge en 50ml de agua destilada a pH 7, después de 1 hora se saca la muestra con las pinzas, se retira el exceso de agua empapando un papel absorbente y se vuelve a pesar.

Para calcular el grado de hinchamiento se usa la siguiente ecuación:

$$\%W = \{(W_t - W_o) / W_o\} \times 100 \quad [3]$$

Donde:

%W= porcentaje de hinchamiento (%)

W<sub>t</sub>= peso final, después de sumergir la película (g).

W<sub>o</sub>= peso inicial de la película seca (g).

#### **4.2. Propiedades de transporte de las películas y recubrimientos comestibles**

La permeabilidad al vapor de agua, al O<sub>2</sub> y al CO<sub>2</sub> son parámetros críticos en la conservación de alimentos, particularmente las frutas y hortalizas. También la absorción y/o permeación de sustancias volátiles que determinan la intensidad y calidad aromática de los alimentos condicionan su aceptación o rechazo (González-Aguilar *et al.*, 2005).

---

**4.2.1. Permeabilidad al vapor de agua**

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) es la cantidad de vapor (g) que pasa por unidad de superficie (m<sup>2</sup>) de un material de espesor dado (cm) por unidad de tiempo (día) cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria (mm Hg) (Krochta *et al.*, 1997a).

La permeabilidad (P) de una membrana en condiciones isotérmicas, en ausencia de poros y defectos en la misma, y bajo el modelo de sorción-difusión es definida como el producto del coeficiente de difusión de las moléculas (D), representando la movilidad de permeables en el polímero y el coeficiente de solubilidad (S), de dichas moléculas en la matriz polimérica que representa la concentración del permeante (moléculas que atraviesan a la película permeable) en la película en equilibrio con la presión externa generada por el permeante.

$$P=D \cdot S \quad [4]$$

En la práctica P es determinada por las medidas del estado estacionario:

$$P=(dm/dt)[x/A(P_{ext}-P_{int})] \quad [5]$$

Donde **dm/dt** es la cantidad de moléculas del permeante que pasan por unidad de tiempo y por unidad de área (**A**) a través de la película de espesor **x**, debido a la diferencia de concentración o al gradiente de presión o concentración de permeante(s) que existe a ambos lados (externo= ext e interno = int) de la membrana o película (**P<sub>ext</sub>-P<sub>int</sub>**). El coeficiente de difusión (**D**) puede ser obtenido por medidas tomadas antes de que el estado estacionario se haya alcanzado.

La permeabilidad es una característica muy general de las películas o capas protectoras comestibles o materiales de empaque. Está definida cuando **D** y **S** no son influenciados por el contenido de permeante en la matriz polimérica, de este modo se aplican tanto las leyes de Fick de la difusión para los estados estacionario y no estacionario con un coeficiente de difusión independiente de la concentración en permeante y la ley de Henry (Martín-Polo, 1997).

El proceso de permeación puede ser descrito matemáticamente por la primera ley de Fick que regula la ley general de transporte de un soluto causado por un gradiente de concentración (Jin, 2002).

$$J= -D (\partial C / \partial x) \quad [6]$$

Donde:

J= Cantidad de soluto transportado por unidad de superficie permeada por unidad de tiempo [g/m<sup>2</sup>·s).

D= Constante de difusividad (m<sup>2</sup>/s).

C= Gradiente de concentración en dirección al flujo.

x= Espesor de la película (m).

Una de las condiciones más habituales de experimentación es alcanzar un flujo permeante en estado estacionario, es decir, que a temperatura y diferencia de presiones parciales del permeante constantes entre ambas superficies de la película, el flujo difusor del permeante a través de una unidad de área y perpendicular a la dirección del transporte, durante un tiempo unidad, toma un valor constante.

$$J= Q / (A \cdot t) \quad [7]$$

Donde:

Q= Cantidad de gas difundido a través de la película (g o ml).

A= Área de la película (m<sup>2</sup>).

t= Tiempo (s).

Suponiendo que la concentración varía linealmente con **x** la ley de Fick se transforma en:

$$J= D (C_2 - C_1) / x = Q / (At) \quad [8]$$

Asumiendo el cumplimiento de la ley de Henry, se llega a la expresión:

$$Q / (At) = [DS (p_2 - p_1)] / x = P \Delta p / x \quad [9]$$

Donde se muestra la dependencia del flujo difusor con la diferencia de las presiones parciales del permeante:

S= Coeficiente de solubilidad (mol/atm).

$\Delta p$ = Diferencia de presión parcial del gas a través de la película (Pa).

P= Permeabilidad [(ml o g) m/m<sup>2</sup>sPa].

Las permeabilidades de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua son calculados por la ecuación 8 (Park, 1999):

---

$$P = DS = (Q_x / A t \Delta P)$$

[10]

El proceso de difusión a través de la membrana depende del tamaño, forma y polaridad de la molécula que se difunde así como de la estructura y características de la película; por ejemplo, de la naturaleza de las fuerzas existentes entre las moléculas que forman la matriz de la película, la presencia de agentes plastificantes o aditivos diversos, etc. (Kumins, 1965; Pascat, 1986; Guilbert, 1986). La solubilidad del filtrado en la película influye en las etapas de disolución y evaporación en las interfases entre la película y el medio ambiente.

Para muchas aplicaciones, la característica funcional más importante de las películas comestibles es la resistencia a la migración de humedad (Kester y Fennema, 1986). La deshidratación superficial constituye uno de los principales problemas en el mantenimiento de la calidad de los productos cortados (Avena-Bustillos y Krochta, 1994). En la tabla 20 se muestran algunos ejemplos del efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles sobre la permeabilidad al vapor de agua.

La naturaleza de la película comestible empleado desempeña aquí un papel muy importante: a mayor hidrofiliidad de los materiales utilizados, mayor permeabilidad al vapor de agua. Los recubrimientos elaborados a partir de polímeros naturales, tales como polisacáridos, 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. 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 al tejido como consecuencia de la pérdida de humedad, así como las reacciones respiratorias en los tejidos vegetales (Rojas *et al.*, 2007).

La polaridad relativamente baja de los compuestos lipídicos y su capacidad para formar una red molecular densa y ordenada tras un enfriamiento apropiados explican las buenas propiedades como barrera contra la humedad de la películas y recubrimientos de grasas y derivados, por regla general, se observa el siguiente orden de eficacia en sentido decreciente como barrera frente a la humedad: ceras > grasas sólidas > lecitina, acetoglicéridos > aceites líquidos (Guilbert, 1986).

Tabla 20. Efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles sobre la permeabilidad al vapor de agua

Efecto	Referencia
Incorporaron lípidos en las películas de pectina de bajo metoxilo para mejorar la resistencia a la permeación del vapor de agua.	Schultz <i>et al.</i> (1949)
Mejoraron la resistencia al transporte de vapor de agua con Aw sobre 0.90 con la incorporación de cera de abeja a la mezcla (CM/HPMC).	Kester y Fennema (1986)
Películas compuestas HPMC, cera de abeja, parafina, ácido palmítico hidrogenado; mejoraron la resistencia al transporte de vapor de agua.	Kester y Fennema (1989)
El incremento de las concentraciones de lípidos al caseinato de sodio disminuye WVP.	Ho (1992)

**4.2.1.1. Efecto del espesor de las películas y recubrimientos comestibles sobre la permeabilidad al vapor de agua**

En las películas ideales la permeabilidad a gases o vapor de agua es independiente del espesor de la película (Crank, 1975). La mayoría de las películas comestibles son de naturaleza hidrofílica y se ha encontrado una relación de pendiente positiva entre la permeabilidad al vapor de agua y el espesor de las películas (Gennadios *et al.*, 1994; Park y Chinnan, 1995). McHugh y Krochta (1993) consideran que a medida que el espesor del film aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, en consecuencia, la presión parcial de vapor de agua de equilibrio en la superficie inferior de la película se incrementa. Otros autores atribuyen el efecto del espesor a cambios en la estructura del film ocasionados por el hinchamiento que provoca el agua en el polímero (Park *et al.*, 1993).

**4.2.2. Permeabilidad al oxígeno**

La permeabilidad al oxígeno parece ser independiente de la presión parcial de oxígeno, sin embargo, es fuertemente afectada por el estado de hidratación de la película o recubrimiento (Torres, 1994). Se pueden formular coberturas comestibles combinando las ventajas de los componentes lipídicos, estos 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 (Kester y Fennema, 1986).

Un recubrimiento, el cual controla los niveles de gases internos apropiadamente por prolongado almacenamiento a temperaturas de refrigeración, causará una más grande y tal vez indeseable modificación de la atmósfera interna sobre el traslado del producto del almacén a la temperatura más alta encontrada durante la distribución al menudeo (Banks, 1985). Por esta razón, los recubrimientos de productos perecederos de respiración aeróbica regular pueden ser limitados al post-almacenamiento, período de distribución al menudeo (Kester y Fennema, 1986).

Para la permeabilidad al oxígeno es importante el revestimiento de los productos básicos agrícolas. Baja permeabilidad al oxígeno conduce al desarrollo de pérdida de sabores, ya que induce un metabolismo anaeróbico, lo que da lugar a elevadas concentraciones interiores de etanol y acetaldehído (Torres, 1994). Las películas de proteínas son buenas barreras de oxígeno de baja a intermedia HR, sin embargo, se deteriora con el aumento de la HR (Krochta, 1997).

Banks (1984) reporta que el contenido de O<sub>2</sub> interno fue significativamente reducido al aplicar una cubierta con éster de sucrosa y CMC en plátanos, lo cual mantuvo la velocidad de respiración aeróbica y retardó el aumento climatérico asociado con la maduración.

Se consideran materiales barrera aquellos con permeabilidades comprendidas entre 0.003 y 50 [cm<sup>3</sup>/100 in<sup>2</sup>día] ó 0.005 a 77 [cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>día] (Alvarado y Aguilera, 2001).

#### **4.2.3. Permeabilidad al etileno**

El etileno es una hormona vegetal que juega un papel clave en la maduración y senescencia de frutas y hortalizas. Todas las células de las plantas producen bajos niveles de etileno, sin embargo, cualquier factor que cause estrés a los tejidos de la planta será la causa para estimular la síntesis de etileno. Los factores estresantes pueden incluir la pérdida excesiva de agua, daño físico o daño patológico. Frutos climatéricos producen altos niveles de etileno durante el inicio de la maduración (Saltveit, 1999). En la tabla 21 se muestran algunos ejemplos del efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles sobre la permeabilidad al etileno.

Tabla 21. Efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles sobre la permeabilidad al etileno

<b>Película</b>	<b>Efecto</b>	<b>Referencia</b>
Caseinato	La producción de etileno en manzanas cubiertas incrementó uniformemente durante 100 días de almacenamiento, por lo que las películas comestibles no afectan la producción de etileno en esta fruta.	El-Ghaouth <i>et al.</i> (1991)
Quitósán	La película con plastificante (0.50) mostró bajos valores de coeficiente de permeabilidad de etileno en el rango de $2.5 \times 10^{-4}$ a $4.3 \times 10^{-4}$ $\text{cm}^3/\text{m} \cdot \text{atm} \cdot \text{día}$ . El incremento de la concentración de plastificante tuvo un efecto negativo sobre esta propiedad de barrera.	Butler <i>et al.</i> (1996)

#### 4.2.4. Permeabilidad al CO<sub>2</sub>

Mannheim y Soffer (1996) determinaron que la concentración de dióxido de carbono interno fue mayor en naranjas cubiertas con Natural Zivdar (contiene una emulsión de cera de carnauba) seguido por PacRite-Sunshine (contiene shellac) y fue más baja en naranjas cubiertas con PrimaFresh (contiene cera de carnauba y shellac). Fue una correlación entre bajas concentraciones de oxígeno y altas concentraciones de dióxido de carbono. La explicación de estas observaciones es que el recubrimiento sirve como barrera para gases, así que, la cantidad de oxígeno el cual puede pasar dentro de las naranjas es reducido y el CO<sub>2</sub>, el cual es producto de la respiración, se acumula en el interior de la fruta (Ben-Yehoshua, 1969). Hagenmaier y Shaw (1992) mencionan que hay dos caminos para intercambiar gases: 1) el recubrimiento forma una barrera adicional en la cáscara a través de la cual tiene que ser penetrado o 2) el recubrimiento tapa aberturas en la cáscara. El mecanismo que prevalece depende del camino para el cambio de gases en frutas sin ser cubiertas. Su conclusión fue que la resistencia al cambio de gases de frutas cubiertas es fuertemente influenciada por la habilidad de la cobertura a obstruir poros en la superficie de la fruta y el espesor de la cobertura es menos importante. En contraste al cambio de gas la resistencia de la cáscara al transporte de vapor de agua es más dependiente del espesor de la cobertura que del tipo de cubierta.

---

**4.2.5. Técnicas para la evaluación de las propiedades de transporte**

La medida de la permeabilidad a los gases (aire, oxígeno, anhídrido carbónico, nitrógeno, etc.) se lleva a cabo con porosímetros de aire y con células de medida específicas (por ejemplo, las descritas por Allen *et al.*, 1963). Para la medida de la permeabilidad al vapor de agua se emplean generalmente métodos gravimétricos (método AFNOR NF H-00-030 o ASTM E 96-80). En estos métodos, la película se fija a una copela que contiene un desecador y se introduce en una atmósfera de humedad elevada para mantener una diferencia constante de presión parcial de vapor de agua. También puede operarse de forma inversa. La evolución del incremento de peso de la copela a lo largo del tiempo permite calcular el coeficiente de transmisión de vapor de agua (WVTR ó CTVA, en g/m<sup>2</sup>·día) y la constante de permeabilidad <<aparente>> al vapor de agua (Papp en g·mm/m<sup>2</sup>·día·mmHg).

**4.2.5.1. Permeabilidad al vapor de agua**

Se han propuesto diferentes métodos para la medición de los coeficientes de permeabilidad. Éstos métodos pueden ser divididos en mediciones volumétricas o gravimétricas, o por métodos diferenciales usando diferentes tipos de detecciones (Mathlouthi, 1994).

El método estándar para la determinación de la velocidad de transmisión del vapor de agua en un material flexible está definido por las normas BS 3177 (UK) y en la norma TAPPI T448-M49 (EE UU) en este método denominado “dish container”, un material absorbente de agua (cloruro cálcico anhidro o sílica gel) se separa de una atmósfera con una alta humedad a través del material al que quiere determinarse la permeabilidad. Cuando las condiciones de equilibrio dinámico se han establecido, la permeabilidad se determina a partir del incremento de peso observado, despejando Q de la ecuación 10:

$$Q = P(p_2 - p_1)A \cdot t / x \quad [11]$$

Utilizando este método la variación medida para las velocidades de transmisión es de aproximadamente un 10%; esto se debe a la variación del espesor de las muestras o bien a la variación de la presión de vapor en la atmósfera (Torres, 1994). En el caso de la norma británica BS 3177 los mayores errores observados se deben a variaciones en las distancias entre la parte por debajo de la muestra y la superficie del desecante, un cambio de 5 a 10 [mm] causa un 17% de variación en la velocidad de transmisión (Paine y Paine, 1994).

Los métodos estándar tienen dos desventajas principales. La primera es que son métodos lentos y la segunda se debe al bajo límite de detección que no lo hace adecuado para muchos materiales barrera. Posteriormente se desarrollan equipos más rápidos para la determinación de la permeabilidad, entre éstos se encuentra el Honeywell W825 WVTR Tester. En este equipo la célula de medida está rodeada por una camisa de vapor de agua que mantiene la temperatura constante, dentro de un intervalo de temperatura entre 4-54°C. Cuando la célula no está en uso, la humedad de la parte de la cámara seca se mantiene al 10% de humedad relativa (nivel mínimo del ensayo) pero se produce un incremento inmediato cuando la célula se abre para insertar la muestra. Debe de hacerse pasar a través de la cámara superior de la célula de medida aire seco hasta que la humedad relativa de la atmósfera alcance el valor requerido, aislándose la célula a continuación. A medida que el vapor de agua atraviesa la muestra la humedad relativa comienza a aumentar en la cámara seca.

En la actualidad se trabaja con la norma ASTM F-1249, basada en el mismo método de las normas TAPPI y BS, pero en la cámara superior se sitúa un detector de cambio de resistencia o un detector de infrarrojos como el utilizado en el caso de los equipos Permatran de la casa Mocon. Este equipo es capaz de detectar cambios en la concentración de vapor de agua en la célula, midiendo la concentración de vapor de agua en la célula, midiendo la concentración de vapor de agua presente en un gas portador (nitrógeno) totalmente seco, lo que se traduce en un cambio en la señal eléctrica, siendo la amplitud de esta señal proporcional a la concentración de vapor de agua. La amplitud de la señal producida en el caso de la muestra a estudio, se compara con la señal producida por una película de permeabilidad conocida al vapor de agua. Esta técnica es al menos tres veces más sensible que cualquier otra, ya que es capaz de medir velocidades de transferencia de agua menores a 0.1 [g/m<sup>2</sup>·día] (Alvarado y Aguilera, 2001).

#### **4.2.5.1.1. Técnicas experimentales. Métodos volumétricos**

Se dispone de dos métodos, uno a presión variable y otro a volumen variable:

Método a presión variable.- Es frecuentemente llamado el método del tiempo-lag (tiempo retraso), como puede apreciarse en la figura 20, donde existe un tiempo  $\theta$  que es el tiempo retraso. En ésta técnica, la película polimérica se coloca en una celda en la cual el gas se introduce de un lado de la película, con una presión  $p_1$ . El cambio de presiones  $p_2$  sobre el otro lado de la película se registra mediante un transductor. Las condiciones experimentales son tales que  $p_1 \gg p_2 \approx 0$  para que  $\Delta Q/\Delta t$  pueda calcularse por  $\Delta P/\Delta t$  encontrando así la gráfica de

presión del lado de baja presión contra tiempo. La permeabilidad es entonces obtenida de la relación: (Mathlouthi, 1994).

$$P_{AB} = Qx / At\Delta P \quad [12]$$

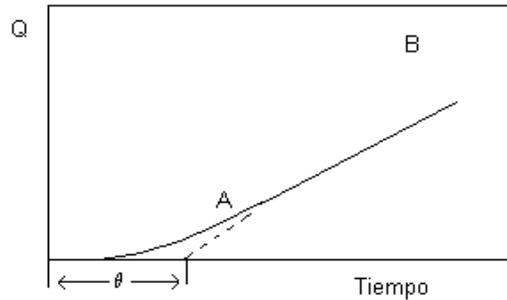


Figura 20. Flujo de gas vs. tiempo

Fuente: Mathlouthi (1994)

Método de volumen variable.- Este método está basado en la medición del flujo de vapor o gas a través de una película polimérica usando un medidor de flujo suficientemente sensitivo. Dado que el método es dependiente de la variación del volumen su uso no es recomendable para películas con materiales con bajas permeabilidades ya que son difíciles de medir (Mathlouthi, 1994).

#### **4.2.5.1.2. Técnicas experimentales. Métodos gravimétricos**

Generalmente son usados métodos gravimétricos para medir la permeabilidad al vapor de agua. De acuerdo a esas técnicas la película cuya WVP se quiere medir obtura una celda de permeación que es colocada en una cámara externa a temperatura constante. La celda de permeación contiene un desecante (0% HR) y la diferencia de presión parcial de vapor de agua ( $P_{ext}-P_{int}$ ) a través de la película es mantenida constante por la colocación de la celda de permeación en una atmósfera extremadamente húmeda (100 % HR).

La celda de permeación ganará (si  $P_{ext} > P_{int}$ ) o perderá peso (si  $P_{ext} < P_{int}$ ) a una velocidad constante, una vez que se haya alcanzado el estado estacionario y que estará determinado por el WVTR de la película. Este coeficiente se determina experimentalmente a partir de la pendiente (m) de la recta obtenida al graficar la ganancia de peso de la celda de permeación en función del tiempo transcurrido en dicha transferencia, a temperatura constante, como se aprecia en la figura 21, ( $r >> 0.99$ ) (Martín Polo, 1997).

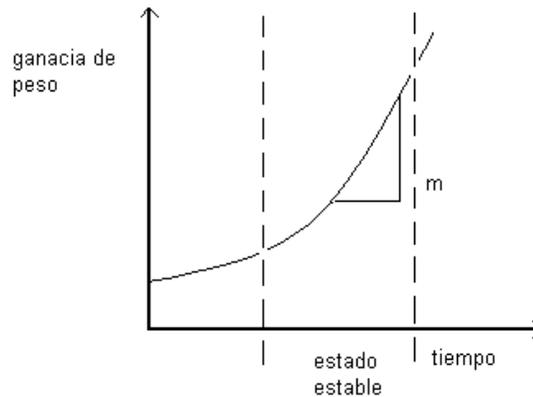


Figura 21. Determinación de WVTR

Fuente: Mathlouthi (1994)

El WVTR de la película de prueba se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{WVTR} = m (1/A) \quad [13]$$

Por lo general las unidades en que se reporta esta propiedad de un material de empaque son: g/m<sup>2</sup>día; g/in<sup>2</sup>día; g/m<sup>2</sup>s; g/in<sup>2</sup>s.

El WVTR (o de cualquier otro permeante), dependerá igualmente de la diferencia de presión parcial (de vapor de agua) establecida entre los dos diferentes compartimentos divididos por la presencia de la película. A este valor se le llama permeancia (perm) del material y se obtiene mediante la ecuación 14 (Martín Polo, 1997).

Cálculo de la permeancia.- Es una medida que se emplea para denotar una evaluación de funcionamiento, no es una propiedad inherente a la película, este término se usa cuando la película es heterogénea o de grosor desconocido. Las unidades empleadas para reportar los valores de permeancia son por lo general: g/m<sup>2</sup> día/mmHg; g/in<sup>2</sup>día/mmHg; g/m<sup>2</sup>sPa; g/in<sup>2</sup>sPa; g/m<sup>2</sup>satm; g/in<sup>2</sup>satm.

$$\text{Permeancia} = \text{WVTR} / (p_{A1} - p_{A2}) \quad [14]$$

$$p_{A1} = p_{V1} (HR_1 / 100) \quad [15]$$

Donde:

WVTR= Coeficiente de transmisión de vapor de agua.

$p_{A1}-p_{A2}$ = Gradiente de presiones parciales en ambos lados de la película. ( $p_{A1}$  = presión externa,  $p_{A2}$  = presión interna).

$p_{A1}=p_{A0}$  Presión de vapor del agua en el desecante. El método de ASTM E96-80 asume que debido a bajas transmisiones de vapor de agua en el espacio de aire entre el desecante y la película en prueba en películas sintéticas,  $p_{A1} = p_{A0}$ , figura 22.

$p_{V1}$ = Presión de vapor de agua pura a la temperatura experimental  $T_1$  bajo la condición de HR<sub>1</sub> (temperatura en la cámara de ambientación) (McHugh y Krochta, 1993).

$$WVP = \text{Permeancia} \cdot x \quad [16]$$

Donde:

x= espesor (m)

La permeabilidad final de la película dependerá entonces también del espesor de la película al igual que de su permeancia selectiva y de otros parámetros de medición que deberán ser indicados en cada caso en particular, a saber: espesor; diferencia de presión parcial de uno y otro lado de la película y área para una velocidad de transferencia constante en función del tiempo de experimentación para una determinada temperatura a la que se hizo la medición de pérdida o ganancia de peso. Las unidades en que se reportan la permeabilidad son: gmil/m<sup>2</sup>díammHg (1 mil=0.001 in); g/mdíammHg; g/indíammHg; g/msPa; g/insPa; g/msatm; g/insatm (Martín-Polo, 1997).

Según las características del producto a empacar, por ejemplo un alimento, se deberá conocer su contenido de humedad y  $A_w$  correspondiente a la temperatura que se quiera conservar para fijar las condiciones internas en que el material de empaque deberá ser probado experimentalmente.

En función de ciertos parámetros críticos de conservación de calidad de un alimento que se deterioraría al aumentar o disminuir la HR de los comportamientos externo o interno, se propondrá determinado material de empaque en función de su permeancia y de su WVP conjuntamente con el establecimiento del tiempo que se requiera conservar el alimento según la cantidad de agua transferida a través del material de empaque (hacia o desde el alimento de empacado) (Martín-Polo, 1997).

Miranda *et al.*, (2003) en la elaboración de películas a base de quitosán, para la determinación de permeabilidad al vapor de agua, acondicionaron las cámaras ambientales 24 horas antes, con soluciones saturadas KCl y K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> creando humedades relativas de 85 y 97%, respectivamente. Las celdas de prueba fueron acondicionadas con las mismas soluciones. De acuerdo a la ASTM E96-80, el método gravimétrico sugiere una celda de doble fondo. Las películas fueron colocadas en las celdas de prueba, sujetadas con bandas de goma y selladas. El peso inicial se registró y las celdas de prueba fueron transferidas a las cámaras ambientales las cuales ya estaban acondicionadas a 85% y 97% de humedad relativa. Las cámaras ambientales se mantuvieron a 4°C ± 2 y 24°C ± 2. La pérdida o incremento de peso de las celdas de prueba fueron monitoreadas a través del tiempo y se registraron un mínimo de siete valores a partir del estado de equilibrio. Se graficaron la pérdida o ganancia de peso contra el tiempo y la pendiente resultante fue dividida por el área expuesta de la película obteniéndose así, la transmisión de vapor de agua. Los datos fueron tratados de acuerdo a las ecuaciones descritas para permeabilidad en la ASTM y se hicieron las correcciones de acuerdo con lo descrito por McHugh y Krochta (1993) para películas hidrofílicas quienes consideran el aire estancado entre la solución saturada dentro de la cámara de prueba y la superficie de la película dentro de la cámara así como la presión parcial debajo de la película.

#### **4.2.5.1.3. Modelos de corrección de permeabilidad al vapor de agua para películas hidrofílicas**

La importancia de metodologías exactas para determinar la permeabilidad de películas comestibles no puede ignorarse, los valores de permeabilidad pueden usarse para predecir la vida de anaquel de los productos, así como también los cambios en las propiedades de permeabilidad de películas para el revestimiento de alimentos (Krochta *et al.*, 1994). No obstante, la mayoría de las anomalías en el comportamiento de películas comestibles se debe a su naturaleza hidrofílica, así como también a la presencia de heterogeneidad de la estructura de la película (Krochta *et al.*, 1994).

- Corrección de cálculo por McHugh para películas hidrofílicas.

El espesor de las películas influye en las propiedades de transferencia de masa y mecánicas de las películas hidrofílicas, no es así en las películas poliméricas ideales. McHugh y Krochta (1993) modificaron el método estándar ASTM E96 para la determinación de la permeabilidad del vapor de agua para películas comestibles hidrofílicas; establecieron que las variaciones observadas cuando se trabaja con películas de distinto espesor, pueden ser explicadas por las diferencias en

la humedad relativa. Cuando trabajaron con películas comestibles plastificadas de proteína de suero de leche, destacaron la importancia de utilizar vacío para evitar la formación de burbujas de aire, señalaron que los efectos de la humedad relativa posibilitan la predicción del comportamiento (WVP) en cualquier gradiente de presión parcial de vapor de agua.

McHugh y Krochta (1993) sugieren el uso del método corregido para WVP para cuantificar el gradiente de presiones parciales en el aire estancado en la cámara de prueba. Se encontraron errores de hasta 35% cuando el método de corrección no es aplicado. El método de corrección involucra el cálculo de difusión de vapor de agua a través de aire, para obtener la transferencia de masa a través de aire estancado en la cámara de prueba. El WVTR se realizó usando el método ASTM E96-80, seguido de la determinación de la presión parcial bajo la película  $p_{A2}$  obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$WVTR = P \cdot D \cdot \ln[(P - p_{A1}) / (P - p_{A0})] / RTz \quad [17]$$

Donde:

$P$  = presión total, es decir, la presión atmosférica.

$p_{A1}$  = presión de vapor del agua en el desecante.

$D$  = difusividad de vapor de agua a través del aire a la temperatura experimental (m<sup>2</sup>/s)

$R$  = constante universal de los gases ( $82.057 \times 10^{-3} \text{ m}^3\text{-atm/Kgmol-K}$ ).

$T$  = temperatura experimental en la cámara de prueba (K).

$z$  = altura de aire estancado entre la película y el desecante.

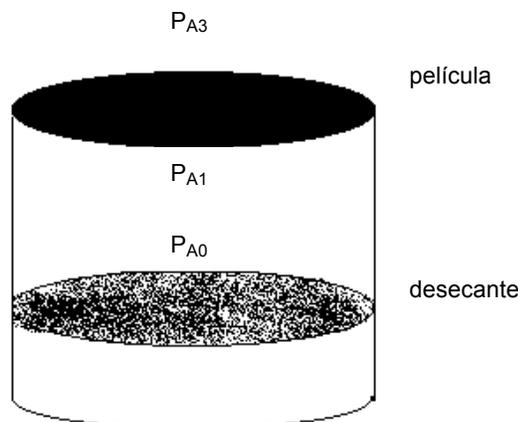


Figura 22. Cámara de prueba

Fuente: McHugh y Krochta (1993)

Despejando  $p_{A1}$  de la ecuación 17:

$$p_{A1} = P - (P - p_{A0}) \exp -[(WVTR \cdot R \cdot T \cdot z) / (P \cdot D)] \quad [18]$$

Una vez corregido el valor de  $p_{A1}$  de acuerdo a McHugh y Krochta (1993) se calcula la permeancia de acuerdo a la ecuación 14. En la tabla 22 se muestran algunos valores de permeabilidad de películas sintéticas e hidrofílicas reportadas por Sherwin (1998) para diferentes tipos de películas hidrofílicas bajo diferentes tipos de prueba.

Tabla 22. Resumen de las propiedades de barrera al vapor de agua de películas elaboradas a partir de polisacáridos

Tipo de película	Espesor (mm)	Condición utilizada		WVP x 10 <sup>11</sup> (g/msPa)
		%HR	°C	
HPMC <sup>a</sup>	0.0077	85-0	29	4.85
HPMC + 42% ácido esteárico <sup>a</sup>	0.008	85-0	29	.063
Quitosán <sup>b</sup>	0.025	100-0	25	3.59
Quitosán + % ácido láurico <sup>b</sup>	0.038	100-0	25	1.76
MC ( $\rho_m=86,000$ ) <sup>c</sup>		11-0	30	12.1
HPC ( $\rho_m=1000000$ ) <sup>c</sup>		11-0	30	6.6
MC + cera de parafina en emulsión <sup>d</sup>	0.20	-	-	9.6
MC + parafina de emulsión + cobertura <sup>d</sup>	0.140	-	-	0.2
Metilcelulosa	0.070	-	-	10.8
HPMC + PEG <sup>a</sup>	0.050	85-0	21	11.0
MC + PEG <sup>a</sup>	0.055	85-0	21	9.0
Etilcelulosa <sup>f</sup>	0.05	100-0	25	0.49
Metilcelulosa <sup>f</sup>	0.038	100-0	25	5.0
Pectinato de calcio y sodio <sup>g</sup>	0.035	81-31	25	61
C18-C16 + HPMC <sup>h</sup>	0.041	97-0	25	0.39
C18-C16 + HPMC <sup>h</sup>	0.041	97-65	25	2.22
C18-C16 + MC/HPMC en emulsión <sup>i</sup>	0.02	97-0	25	1.21
C18-C16 + MC/HPMC en emulsión <sup>i</sup>	0.02	97-65	25	6.42
C18-C16 + MC/HPMC con cobertura <sup>f</sup>	0.056	97-0	25	0.066
C18-C16 + MC/HPMC con cobertura <sup>f</sup>	0.056	97-65	25	0.176
Etilcelulosa <sup>j</sup>	0.025	91-0	37	5.29

PEG= polietilenglicol, C18= ácido esteárico, C16= ácido palmítico.

Fuente: a) Hagenmaier y Shaw (1990); b) Wong *et al.* (1992) c) Park *et al.* (1993); d) Martín-Polo, *et al.* (1992); e) Park y Chinnan (1990); f) Donhowe y Fennema (1993); g) Shultz *et al.* (1949); h) Kamper y Fennema (1984b); i) Kester y Fennema (1989); j) Kanig y Goodman (1962).

En las tablas 23, 24 y 25 se muestran resúmenes de las propiedades de barrera al vapor de agua de películas elaboradas a base de polisacáridos y proteínas y permeabilidad al vapor de agua de algunas películas comestibles a base de ceras.

Tabla 23. Propiedades de barrera al vapor de agua de películas elaboradas a base de proteínas

Tipo de película	Espesor (mm)	Condición utilizada		WVP x 10 <sup>11</sup> (g/msPa)
		%HR	°C	
Caseinato de sodio (CS) <sup>a</sup>	0.083	81.2-0	25	42.4
Caseinato de calcio <sup>a</sup>	0.082	84.8-0	25	32.4
20% CS + 80% GA <sup>a</sup>	0.040	83-0	25	18.3
62% CS + 37% CA <sup>b</sup>	0.103	95-0	25	11.11
Gluten + zeína <sup>b</sup>	-	11-0	23	4.3
Gluten + sulfito de sodio <sup>c</sup>	-	11-0	23	6.1
Gluten + glicerina <sup>d</sup>	-	50-100	26	125
Zeína + ácido oleico <sup>e</sup>	0.038	91-0	37.8	2.64
56% PS + 28% C16 + 16% sorbitol <sup>g</sup>	0.138	93-0	25	22.2
56% PS + 28% CA + 16% sorbitol <sup>g</sup>	0.171	94-0	25	23.61
63% PS + 37% sorbitol	0.129	79-0	25	71.6
Proteína aislado de soya	0.064	50-0	20	179

GA= glicéridos acetilados, CA= cera de abeja, PS= proteína del suero, C16= ácido palmítico Fuente: a) Avena-Bustillos y Krochta (1993); b) Gennadios *et al.* (1993a) c) Gennadios y Weller (1991); d) Aydt *et al.* (1991); e) Kanig y Goodman (1962); f) Park y Chinnan (1990); g) McHugh y Krochta (1994); h) Brandenburg *et al.* (1993).

Tabla 24. Coeficiente de transmisión y permeabilidad al vapor de agua de algunas películas comestibles a base de ceras

Película	T (°C)	Δp (mmHg)	X (mm)	WVTR (g/m <sup>2</sup> ·día)	Papp·10 <sup>2</sup> (g·mm/m <sup>2</sup> ·día·mmHg)
Cera de parafina	25	20-0	0.66	0.006	0.02
Cera de abeja	25	20-0	0.12	0.42	0.25
Cera de abeja y ácidos esteárico y palmítico sobre un soporte celulósico (HPMC/MC)	25	23-0 23-15.4	0.05	3.5 3.0	0.75 2.0

Fuente: Doty *et al.* (1964); Kamper (1983); Kester y Fennema (1986b); Landman *et al.* (1960); Lovegren y Feuge (1954); Miers *et al.* (1961).

Tabla 25. Valores de WVP de películas hidrofílicas corregidas por los métodos de McHugh y Krochta (1993); Gennadios *et al.* (1994)

<b>Material de la película</b>	<b>Espesor promedio (mm)</b>	<b>Condiciones experimentales</b> <b>HR<sub>dentro</sub> – HR<sub>fuera</sub></b>	<b>WVP<sub>c</sub></b> <b>(g·mm/kPa·h·m<sup>2</sup>)</b>
62.5% WPI, 37.5% Sorbitol	0.115	77-1	2.7
56% WP, 28% PA, 16% Sorbitol	0.14	92-0	0.96
56% WP, 28% PA, 16% Sorbitol	0.14	97-0	0.52
66% WPI, 33% glycerol	0.111	55-76	12.12
40% WPI, 40% AM, 20% glicerol	0.111	55-74	11.8
40% MC/HPMC, 36% FA, 24% polietilenglicol	0.02	97-0	0.19
40% MC/HPMC, 36% FA, 24% polietilenglicol, BW laminada	0.056	97-0	0.031
37%CE, 13% polietilenglicol, 50%BW laminada	0.051	100-0	0.0039
55%HPMC, 45% SA	0.018	85-0	0.0013
Polietileno de alta densidad	0.032	91-0	6.64 x 10 <sup>-5</sup>

Abreviaciones: WP= Proteína de suero de leche, WPI= aislado de proteína de suero de leche, PA= ácido palmítico, BW= cera de abeja, AM= monoglicérido acetilado, MC/HPMC= mezcla de metilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa, FA= mezcla de ácido palmítico (PA), ácido esteárico (SA), E= éter de celulosa.

Fuente: Sherwin (1998)

La HR denota el gradiente de humedades relativas de las condiciones experimentales establecidas alrededor de la película dentro de la película dentro de la celda de prueba y fuera de ella, en la cámara de ambientación.

#### **4.2.5.2. Permeabilidad al oxígeno**

En el caso de la medida de la permeabilidad al oxígeno estas normas se basan en la determinación de la concentración de oxígeno con un detector coulométrico. Actualmente existen equipos que permiten realizar estas medidas de forma rápida. En el caso de la permeabilidad al oxígeno la casa Macon (EE UU) ha desarrollado el equipo Ox-TRAN® que utiliza un detector de electrodos grafito-cadmio-níquel patentado, saturado con un electrolito básico para estimular una alta velocidad de electroabsorción de oxígeno. El equipo dispone de dos células de medida. Al inicio del ensayo se purgan ambos lados de la muestra con un gas

inerte (nitrón: 98% de nitrógeno, 2% de hidrógeno) que previamente ha atravesado una zona con un catalizador de 3-5 [g] de platino en alúmina al 5%, de tal modo, que el oxígeno residual que pueda contener dicho gas portador reacciona con el hidrógeno para dar vapor de agua. Una vez conseguida una situación cero, el oxígeno puro (99%) se hace pasar por la parte exterior de la cámara de medida, y las moléculas de oxígeno se difunden a través del material a la cámara interior de la célula. Este oxígeno es entonces arrastrado por el gas portador y llevado al sensor, donde se produce una corriente eléctrica proporcional a la cantidad de oxígeno que le llega. El registrador controla el incremento de corriente de flujo a través de un resistor de carga que es directamente proporcional a la velocidad de transmisión del oxígeno (Alvarado y Aguilera, 2001).

La permeabilidad al oxígeno fue medida de acuerdo al método ASTM-D3985, utilizando un sistema modular Ox-Tran capaz de medir la tasa de transmisión de oxígeno a través de la película. Para ello, las muestras fueron cortadas circularmente y colocadas sobre dos placas de aluminio que contenía el equipo, las cuales tenían un área de exposición a los gases de 5 cm<sup>2</sup>. Dichas placas conteniendo las muestras fueron colocadas dentro de la celda de análisis por medio de las cuales se hizo pasar de un lado una corriente de nitrógeno puro (98%) y por el otro, una corriente de 100% de oxígeno. Los análisis fueron realizados durante 12 horas a 23°C y 50% de HR (McHugh y Senesi 2000).

Cada película se colocó entre dos cajas de petri, para formar una celda con dos cámaras separadas por el material, donde la hermeticidad se creó con la aplicación de silicón térmico, las cámaras contaban con un puerto de minitoreo y puertos de entrada y salida para permitir un flujo gaseoso. En la cámara superior, llamada depósito destino (D<sub>d</sub>), se aplicó un flujo de 100 ml·min<sup>-1</sup> de N<sub>2</sub> por 30 min. En la cámara inferior, llamada depósito fuente (D<sub>f</sub>), se aplicó un tratamiento semejante, pero con aire normal. A un tiempo cero (t=0) se inyectó 1ml de CO<sub>2</sub> de alta pureza (99.8%) en D<sub>f</sub> y se inició el registro de la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en D<sub>d</sub>, a intervalos aproximados de 15 minutos, hasta completar cinco lecturas. Los resultados se ajustaron mediante regresión a la ecuación 19, donde k<sub>1</sub> se definió por la ecuación 20 y k<sub>2</sub> (igual a y<sub>j</sub><sup>f</sup> - y<sub>j</sub><sup>d,0</sup>) fue la línea asintótica a la curva formada por la ecuación 19:

$$y_j^{d,t} = y_j^{d,0} + k_2 (1 - e^{-k_1 t}) \quad [19]$$

$$k_1 = \{R (T+273.15) P_j^d A^d\} / V^d \quad [20]$$

Donde:

R= constante del gas ideal (8.314 Pa·m<sup>-3</sup>·mol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>)

T= temperatura (°C)

$V^d$ = volumen interno ( $m^3$ ) de  $D_d$

$A^d$ = área ( $m^2$ ) de la membrana que divide ambos depósitos

$y_j^{d,0}$ = concentración (%) de  $O_2$  o  $CO_2$  en el mismo depósito en tiempo cero ( $t=0$ )

$y_j^f$ = concentración (%) de  $O_2$  o  $CO_2$  en  $D_f$  y

$P_j$ = permeancia ( $mol \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot Pa^{-1}$ ) de la película de prueba a  $O_2$  o  $CO_2$ , cuyo valor se obtuvo de la ecuación 20.

Adicionalmente se midió el espesor y se calculó la permeabilidad del recubrimiento, multiplicando la permeancia por dicho espesor de la membrana. Las concentraciones de  $O_2$  y  $CO_2$  fueron determinadas con un cromatógrafo de gases (Varian modelo 3400CX, USA) con columna capilar Chrompack® tipo poraplot Q, con detector por conductividad térmica (TCD) y detector por ionización de flama (FID). Se usaron temperaturas de 80, 150 y 170° C en la columna, inyector y detectores, respectivamente. La columna operó a presión manométrica de 158.5 kPa (Valle *et al.*, 2008).

#### 4.2.5.3. Permeabilidad al etileno

Los valores de transmisión de gas de etileno a través de las películas de quitosán se midieron mediante una célula de difusión de 2 cámaras (Kesslan Tool & Mfg., Corp Kenilworth, NJ.) (Figura 23) y una modificación del incremento de la concentración por los métodos descritos por Landrock y Proctor (1952). Las pruebas se realizaron a  $25^\circ \pm 5^\circ$  C en un ambiente seco (0% HR). Las muestras fueron analizadas para la concentración de etileno en ppm utilizando un cromatógrafo de gases equipado con un Carboxen 1000 la columna y un detector de ionización de llama. El aumento de la concentración (ppm) de la curva se determinó mediante regresión lineal simple (Butler *et al.*, 1996).

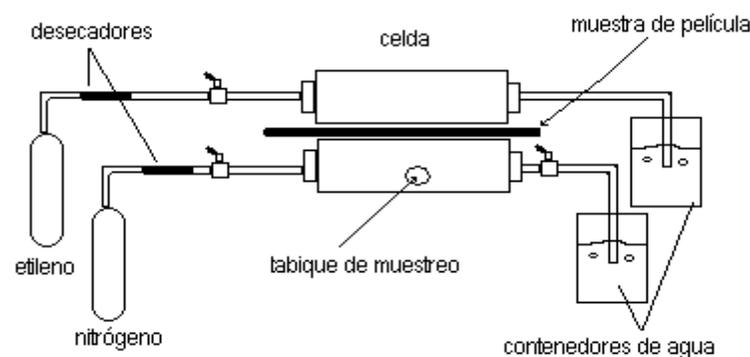


Figura 23. Celda de difusión para medir la permeabilidad de etileno de las películas comestibles

Fuente: Butler *et al.*, (1996)

**4.2.5.4. Permeabilidad al CO<sub>2</sub>**

La permeabilidad de gas de dióxido de carbono a través de las películas de quitosán se midió utilizando una celda de permeación de gas fabricados con acero inoxidable. La película de la prueba se sujeta entre las secciones de acero inoxidable, formando una parte superior y una cámara inferior. Ambas cámaras fueron purgadas con helio antes que la línea de gas en la cámara superior se abriera para el flujo del dióxido de carbono. El gas en la cámara baja fue analizado por cromatografía de gases a intervalos de tiempo regulares. Una Hewlett-Packard 5990 (Palo Alto CA) equipado con un detector de conductividad térmica y una columna de relleno (183 cm x 0,32 cm ss) de Chromosorb 107 fue utilizado. Temperatura de la columna se mantuvo a 60 ° y el caudal a 30 ml / min (Wong *et al.*, 1992).

En la tabla 26 se resumen valores de permeabilidades de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua de películas comestibles y no comestibles:

Tabla 26. Permeabilidades de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua de películas comestibles y películas plásticas

Película	Permeabilidad		
	<sup>b</sup> O <sub>2</sub>	<sup>b</sup> CO <sub>2</sub>	<sup>c</sup> H <sub>2</sub> O Vapor
Zeína	0.36±0.16	2.67±1.09	0.116±0.019
MC (L)	2.17±0.45	69.0±19.33	0.092±0.003
HPC (L)	3.57±0.03	143.9±3.76	0.110±0.004
HPC/lípido	3.44±0.06	81.7±4.58	0.082±0.003
PE	8.30	26.1	-
PP	0.55±0.005	-	0.00065±0.06
PVC	0.09-17.99	1.35-26.98	0.00071
PET	0.13-0.30	0.67-1.12	-

(PE) polietileno, (PP) polipropileno, (PVC) cloruro de polivinilo, (PET) tereftalato de polietileno.

<sup>b</sup> unidad de permeabilidad en fl·m·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>·Pa<sup>-1</sup>; f es una abreviatura para femto (10<sup>-15</sup>).

<sup>c</sup> unidad de permeabilidad en ng·m·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>·Pa<sup>-1</sup>; n es una abreviatura para nano (10<sup>-9</sup>).

Fuente: Martín-Polo (1997)

---

**4.3. Propiedades mecánicas de las películas comestibles**

Las películas comestibles deberán ser resistentes a la fractura y a la abrasión para darle resistencia a la estructura del alimento, para protegerlo en el manejo y lo bastante flexibles y plásticas (deformables) para adaptarse a la versatilidad en el recubrimiento sin que se produzcan roturas (Martín-Polo, 1997).

Las propiedades mecánicas, es decir, la resistencia a esfuerzos mecánicos de tensión y compresión dependen del tipo de material con el que se forma la película y específicamente de su cohesión estructural. Esta habilidad depende de la estructura del polímero y especialmente del tipo de uniones que lo conforman, de las uniones que establece entre vecinos, covalentes, puentes de disulfuro, hidrofóbicas, puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals, de la distribución molecular y de los dominios de la distribución de la carga eléctrica, geometría, distribución del peso molecular y del tipo y posición de sus grupos laterales (Martín Polo, 1997).

Las propiedades mecánicas en las películas comestibles tienen un gran impacto en la estabilidad y flexibilidad a cambios de temperatura, físicos y ambientales. La fuerza y el porcentaje de elongación (%E) al quiebre, son las propiedades mecánicas más comúnmente medidas o determinadas (Gennadios *et al.*, 1994). Las propiedades mecánicas adecuadas aseguran la integridad de las películas y deben de estar libres de defectos mínimos, tales como pequeños agujeros, que arruinan las propiedades de barrera (Chen, 1995).

**4.3.1. Porcentaje de elongación, fuerza de tensión y esfuerzo tensil en la ruptura**

La elongación es el porcentaje de cambio de la longitud original de la película al punto de fractura (Chen, 1995). Muchos materiales son capaces de alargarse cuando son sometidos a esfuerzo de tracción entre sus dos extremos. Esta propiedad se conoce con el nombre de elongación a la ruptura (Guarda y Galotto, 2001).

Se entiende como fuerza de tensión (TS) a la resistencia a la ruptura de una película o material plástico cuando éste es sometido a un esfuerzo ejercido para alargar el material (Nielsen, 1974). También conocida como última fuerza de tensión, es una medida de la fuerza de la película, se refiere específicamente a la fuerza máxima de tensión (fuerza / área transversal) que el material puede sufrir antes de la fractura. Las unidades son: fuerza / área de sección transversal (Chen, 1995).

La TS expresa una medida de la integridad y durabilidad en el uso potencial de películas y el porcentaje de elongación al punto de fractura es una medida cuantitativa que representa la habilidad de la película a ser estirada (Kaya y Kaya, 2000). El esfuerzo tensil a la ruptura (ETR) representa el esfuerzo máximo de tensión que puede soportar una muestra durante la prueba.

Las propiedades mecánicas: fuerza de tensión (TS) y elongación (%E), fueron investigados en películas de metilcelulosa (ME) e hidroxipropilcelulosa (HPC). OP, WVP y TS de películas de MC e HPC incrementaron cuando el peso molecular (MW) de la celulosa incrementó. OP, WVP y TS de películas de MC no estuvieron en función del espesor, pero el %E incrementó lentamente cuando se incrementó el espesor de la película. La TS y %E de películas de HPC incrementaron lentamente cuando se incrementó el espesor. La TS decrementó y el %E incrementó para ambos tipos de películas cuando la concentración de los plastificantes fueron incrementados.

#### **4.3.2. Elasticidad y módulo de elasticidad**

La elasticidad (E) es definida como “la velocidad a la cual el material regresa a su condición no deformada, después de remover la fuerza de deformación”. El módulo de elasticidad (ME) es la medida fundamental de la rigidez de la película, así que valores altos corresponden a películas rígidas (Krochta *et al.*, 1997).

#### **4.3.3. Factores que afectan las propiedades mecánicas**

- *Presencia de plastificantes en las películas hidrofílicas.*

Incrementado la cantidad de plastificante se debilitan las fuerzas intermoleculares entre cadenas poliméricas adyacentes. Esto da por resultado películas con bajas propiedades de fuerza de tensión y grandes elongaciones.

- *Presencia de lípidos en las películas hidrofílicas.*

Se ha observado que la fuerza de tensión para lípidos aceitosos tiene un efecto antiplastificante por reducir la habilidad de deformación de las películas de metilcelulosa. Para altos contenidos de sólidos grasos, la naturaleza del lípido influye en el 1% de elongación, mientras que la fuerza de tensión no se ve afectada (Debeaufort *et al.*, 2000).

Una disminución en la fuerza de tensión se ha observado cuando se han adicionado ácidos grasos saturados (ácido laúrico, ácido palmítico, y mezcla ácido esteárico-ácido palmítico) a películas de zeína, pero también un incremento en la elongación en películas a base de

metilcelulosa / zeína de maíz-ácido graso (Budi y Padua, 1997). El ácido oleico ha sido utilizado para plastificar películas a base de zeína encontrándose que excesos de éste ácido debilitan la estructura y bajan la elongación (Budi y Padua, 1997).

#### **4.3.4. Técnicas para la evaluación de las propiedades mecánicas**

El comportamiento mecánico, es uno de los más importantes, así que se pueden hacer pruebas de tensión, en las cuales se somete la película a una deformación hasta su ruptura durante un período corto y es quizás la más útil de todas las pruebas empleadas para evaluar propiedades mecánicas (Anker *et al.*, 1999). Para películas de quitosán, las propiedades mecánicas fueron evaluadas con los métodos estándar de la ASTM (D882-91) para tensión. Películas recién formadas se cortaron en listones de 2.8 cm de ancho por 10.5 cm de largo y se almacenaron a 30°C y 50% de HR por 48 horas antes de la prueba. Se empleó un analizador de textura TAXT2, (Textura Technologies, Corp., New York), a una velocidad transversal de 2 mm/s para tensión. El área expuesta de la película fue de 6.7 cm de largo. Se evaluó la fuerza de tensión y elongación al punto de fractura y módulo elástico (Miranda *et al.*, 2003).

Películas comestibles de MC e HPC fueron cortadas en tiras de 6 x 2.54 cm, una cámara ambiental (Model 317332 Hotpack, Corp., Philadelphia, PA) fue usada para acondicionar cada muestra a 25°C y 50% HR. Una Instron (modelo 4210, Instron Engineering Corp., Canton, MA) fue usada para medir TS y E de acuerdo al método D882-88 (ASTM, 1989) a una velocidad transversal de 500 mm/min (Park *et al.*, 1993).

TS y %E fueron evaluados con un modelo 4201 de la máquina universal de ensayos (Instron Engineering Corp, Canton, MA) de acuerdo con la norma ASTM E 882-88 método estándar (ASTM, 1988). Después del desprendimiento de las películas de las placas de vidrio, fueron cortadas en 2,54 cm de ancho por 10 cm de largo tiras. Las tiras de película fueron acondicionadas en una cámara climática a 25 ° C y 50% HR por 48 horas. El Instron fue equipado con una célula de 50 kg de carga y la separación agarre inicial fue de 4,0 cm. Las muestras fueron separadas a una velocidad de cruceta de 500 mm / min. La TS fue determinada con una carga máxima y el %E se calculó en la rotura (Brandenburg *et al.*, 1993).

El porcentaje de elongación (%E) al punto de fractura se calcula dividiendo la elongación al momento de la ruptura entre la longitud inicial del espécimen y multiplicada por 100 (Caner *et al.*, 1998).

---

$$\%E = (L/L_0) \times 100$$

[21]

Los métodos clásicos para la evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera aplicados a los materiales de embalaje también pueden ser empleados con las películas comestibles. Sin embargo, éstas son mucho más sensibles a las características físicas del medio ambiente, temperatura y humedad relativa.

Las propiedades mecánicas de las películas comestibles se tratarán de ejemplificar con la investigación de Gómez (2005) quien eligió un diseño de mezclas de cuatro polímeros utilizando: un concentrado de proteína de suero de leche (WPC), alginato de sodio (AS), *k*-carragenina (KCG), goma de mezquite (GM) y como plastificante utilizó sorbitol (S) (70% pureza), evaluando el efecto de la composición de las películas sobre las propiedades mecánicas. Las películas se obtuvieron por desecación, de una cantidad constante de dispersiones acuosas de los componentes, a 20°C por 48 horas. Para la determinación de las propiedades mecánicas, las películas se cortaron en tiras (80 mm por 25 mm) utilizando una navaja y se colocaron en las pinzas de un analizador de textura (modelo TA-XT2) para determinar sus propiedades mecánicas de acuerdo a la norma ASTM D882-97. Los extremos de las tiras de las películas fueron recubiertos con cinta adhesiva para evitar su ruptura al hacer contacto con las pinzas (McHugh y Krochta, 1994). El área final expuesta fue de 50 mm por 25 mm. La distancia inicial se fijó en 50 mm y la velocidad del cabezal, en 24 mm/min. Los datos de fuerza y elongación fueron registrados durante la prueba, a partir de los cuales se calculó, el esfuerzo tensil, el % de elongación, el esfuerzo tensil en la ruptura, el módulo de elasticidad y el índice de ruptura.

Gómez (2005) menciona que cuando se mezclan biopolímeros, a menudo hay una separación de fases para formar dominios que son ricos en un polímero y pobres en otro, ya que las diferencias de viscosidades hace que el sistema adquiera el comportamiento parecido al de una emulsión, donde la fase de mayor viscosidad queda incluida en la de menor viscosidad que a su vez actúa como fase continua.

Las películas de WPC fueron de menor valor de ETR comparada con las de AS, KCG y GM (Gómez, 2005). Se atribuyen los bajos valores del ETR, al debilitamiento de las interacciones proteína-proteína, cuando la concentración de sorbitol es de alrededor del 40% (concentración muy cercana a la utilizada en este estudio). Cuando el contenido de plastificante se encuentra alrededor de 20%, el ETR se incrementa de 3 a 4 veces.

Un hallazgo interesante en la mezcla binaria GM-KCG, fue que cuando predomina la proporción de KCG en relación con la de GM, el ME se reduce, es decir, se requiere de mucho menor fuerza para deformar esta película (1406.78 MPa) y se incrementa su fuerza, esfuerzo tensil (ET) y elasticidad (E) (30.26 MPa y 2.5% E). Es probable que en este caso, la GM actúe en la red de gelificación de la KCG y dado que es una molécula compacta, ramificada, flexible y que posee una fracción proteínica (Vernon-Carter *et al.*, 2000), contribuya a las fuerzas cohesivas del sistema, y por el incremento en los valores de ET y E podría reforzarse la suposición de la formación de una red acoplada. Dentro de las películas menos rígidas, se encuentran las de WPC, con un ME de 175 MPa. Sin embargo, si se mezcla WPC con KCG, donde el WPC predomina en la mezcla, el ME alcanza valores de 931 MPa. En la mezcla opuesta donde predomina la proporción de KCG, el ME fue de 350 MPa. En el primer caso, podría suponerse que la KCG actúa como un estabilizador en la mezcla proporcionando mayor resistencia a la deformación, sobre todo si se considera que el ME para la película de KCG fue de 1252.5 MPa. Para el segundo caso, un incremento en la proporción del polisacárido induce un impedimento estérico que probablemente excluye el espacio de la red a las moléculas de proteína.

Se observó también que en ausencia de GM, el orden de magnitud del ME determinado experimentalmente no rebasó los 2000 MPa. Las mezclas ternarias de AS-KCG-WPC mostraron un máximo de 2680 MPa. El máximo valor calculado del ME para una película de los cuatro componentes, fue de 1594.63 MPa cuando la composición es de 41% KCG, 40% GM, 17% AS y 2.0% WPC. El mínimo valor calculado fue de 400.03 MPa, cuando la composición es de 46% WPC, 33% AS, 20% GM, 1.0% KCG.

Gómez (2005) concluye que existe correlación entre la composición de las películas comestibles multicomponentes con su comportamiento mecánico y éste, con las posibles aplicaciones en alimentos. El mayor aporte a la resistencia de las películas fue dado por el alginato de sodio. Por el contrario las proteínas concentradas del suero de leche, incrementaron la fragilidad de las películas que la contenían. La combinación de alginato de sodio y la *k*-carragenina favoreció la resistencia de las películas a la ruptura. La interacción de la *k*-carragenina en las mezclas donde está presente la goma de mezquite se incrementó el ET y la fragilidad de la película fue menor.

Tabla 27. Propiedades mecánicas de algunas películas comestibles

Material	Efecto	Referencia
Qitosán-almidón	A medida que aumenta la relación almidón/qitosán, se incrementa las fuerzas de tensión y elongación, decreciendo la velocidad de transmisión de vapor de agua.	Xu <i>et al.</i> (2005)
Almidón-qitosán	Demostraron que las fuerzas de tensión y flexibilidad mejoraron notablemente cuando la relación almidón/qitosano era 80/20 y que existe una interacción y una separación de la microfase entre las moléculas de ambos constituyentes.	Zhai <i>et al.</i> (2004)
Qitosán	Las muestras de las películas fueron probadas después de 0, 2, 4, 8 y 12 semanas de almacenamiento. Los valores de fuerza de tensión (15-30 MPa) decrecieron y los valores de %E (25%-45%) incrementaron con respecto al a tiempo de almacenamiento.	Butler <i>et al.</i> (1996)
Ácidos grasos	La TS de las películas compuestas de la mezcla ácido palmítico-esteárico, no mostraron diferencias significativas cuando las concentraciones de ésta mezcla aumentaban. La TS de las películas comestibles que contienen ácido láurico no siguió esta tendencia y tuvo un incremento máximo hasta el 30% de concentración.	Park <i>et al.</i> (1994)

En las tablas 28 y 29 se muestran valores de algunas propiedades mecánicas de películas comestibles.

Tabla 28. Propiedades mecánicas de películas hidrofílicas a base de proteínas

Material de la película	Espesor (mm)	Tensión a la ruptura (MPa)	%Elongación
Gluten + glicerina <sup>a</sup>	0.101	2.6	276.2
Gluten + soya <sup>a</sup>	0.08	4	233.3
Gluten + zeína <sup>a</sup>	0.072	4.1	174.7
Gluten + sulfito de sodio <sup>b</sup>	0.0128	2.9	192.3
Gluten + aceite mineral <sup>b</sup>	0.0125	2.2	267.2
Aislado de proteína de soya (ISP) <sup>c</sup>	0.06	4.54	85.55
ISP tratado con álcali <sup>c</sup>	0.066	3.95	107.35
Aislado de proteína del suero de leche WPI: Glicerol (5.7:1) <sup>d</sup>	-	29.1	4.1
WPI: Sorbitol (2.3:1) <sup>d</sup>	-	14	1.6
Zeína + glicerol <sup>e</sup>	-	0.4	-----

Fuente: a) Gennadios *et al.* (1993a); b) Gennadios *et al.* (1993b); c) Brandenburg *et al.* (1993) d) McHugh y Krochta (1994); e) Aydt *et al.* (1991).

Tabla 29. Resumen de las propiedades mecánicas de películas sintéticas adicionadas de diferentes biopolímeros

Material de la película	Espesor (mm)	Tensión a la ruptura (MPa)	Elongación (%)
Poliétileno <sup>a</sup>	-	16.1	376
Poliétileno + 4% zeína <sup>a</sup>	-	9.5	176
30% almidón + 66% EAA +4% ác. Esteárico <sup>b</sup>	0.053	17.4	56
100% EAA <sup>b</sup>	0.083	22.6	295
25% APV + 25% almidón + 30% EAA + 18% S + 2% G <sup>c</sup>	-	24	300
40% almidón + 40% EAA + 20% LDPE <sup>c</sup>	-	23.97	66
Quitósán + celulosa <sup>d</sup>	-	94.82	8.6
Quitósán + celulosa + G <sup>d</sup>	-	66.97	9.6

EAA= Ácido etilén acrílico, APV= Alcohol polivinílico, S= Sorbitol, G= Glicerol.

Fuente: a) Park *et al.* (1993); b) Otey (1997); c) Otey (1980); d) Nishiyama (1981); e) Aydt *et al.* (1991); f) Martín-Polo (1997); g) Salame (1986). (Citado por Martín-Polo, 1997).

**5. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN FRUTAS Y HORTALIZAS****5.1. Efecto en la respiración**

La velocidad de respiración de frutas y hortalizas se mide ya sea como oxígeno consumido, CO<sub>2</sub> producido o ambos. La mayor parte de la energía requerida por las frutas y hortalizas se obtiene mediante la respiración aeróbica (Baldwin *et al.*, 1995).

Durante la respiración, la glucosa se convierte en piruvato el cual eventualmente se metaboliza a CO<sub>2</sub>, vía ciclo del ácido tricarboxílico. Si el O<sub>2</sub> es limitante, lo que algunas veces ocurre en algunos empaques, cubiertas y condiciones de almacenamiento, este tejido puede experimentar respiración anaeróbica. En este caso la glucosa se convierte a piruvato, el cual se metaboliza ya sea a ácido láctico ó acetaldehído y etanol (fermentación) (Wills *et al.*, 1999). La prolongación de la respiración anaeróbica puede conducir al deterioro acelerado del producto (Baldwin *et al.*, 1995).

El uso de películas comestibles, especialmente con empaques de plástico impermeable o semipermeable, pueden reducir la respiración y por lo tanto prolongar la vida de anaquel del producto. Cuando los tejidos de fruta y hortalizas experimentan niveles ambientales de oxígeno menores a 8%, disminuirán la producción de etileno y niveles de CO<sub>2</sub> mayores al 5% prevendrán o retrasarán muchas respuestas del tejido vegetal al etileno, como es la maduración. Se requiere un mínimo de 1 a 3% de oxígeno para prevenir la respiración anaeróbica. Un aumento en la velocidad de respiración ocurre a temperaturas altas de almacenamiento; bajas temperaturas (por encima del punto de congelación), regularmente disminuyen la respiración. En otras palabras, una cubierta y/o empaque de plástico que produzcan una atmósfera modificada apropiada para un producto almacenado a baja temperatura, puede causar condiciones anaeróbicas si el producto experimenta una temperatura elevada por un período de tiempo prolongado (Baldwin *et al.*, 1995).

Las películas comestibles pueden afectar la velocidad de respiración y la pérdida de agua en los vegetales. Algunas de las ceras recientes han demostrado reducir la permeabilidad al oxígeno y CO<sub>2</sub>, resultando en una disminución interna de oxígeno y un aumento interno de dióxido de carbono (Nisperos-Carriedo *et al.*, 1990; Smock, 1940). La alta respiración, producción de etileno y pérdida de humedad que resultan del proceso de maduración pueden ser reducidas

teóricamente mediante la aplicación de una membrana semipermeable como lo son las cubiertas comestibles (Baldwin *et al.*, 1995).

Idealmente las películas comestibles retrasarían la pérdida de volátiles deseables de sabor y vapor de agua, mientras restringen el intercambio de oxígeno y CO<sub>2</sub>, creando así una atmósfera modificada. Sin embargo, las atmósferas modificadas creadas por las cubiertas no deben causar respiración anaeróbica, lo que puede resultar en olores desagradables y crecimiento de microbios anaeróbicos. Por supuesto que en realidad, lo anterior es difícil de alcanzar (Baldwin *et al.*, 1995).

El efecto inhibitorio en la velocidad de respiración y producción de etileno inducida por los tratamientos con cera en frutas (al ambiente o caliente), se podría explicar por los cambios en la atmósfera interna, impuestos por la película establecida alrededor del fruto, provoca una disminución en la concentración de O<sub>2</sub> y aumento en la de CO<sub>2</sub> de acuerdo a investigaciones de Hagenmaier y Baker (1993). Disminuciones en la velocidad de respiración han sido reportadas en los frutos de melón cv 'Magnum' tratados con una cera comercial por Troncoso-Rojas *et al.* (1999), el mismo fruto conservado en película de polietileno de baja densidad también se encontró el mismo efecto (Báez-Sañudo *et al.*, 2002).

Sin embargo, Avena-Bustillos *et al.* (1997) mencionan que los valores de respiración se incrementaron para manzanas 'Red Delicious' cubiertas con películas de caseinato –acetilado de la misma manera que las manzanas sin recubrimiento, ambos tratamientos por 100 días. Esto indicó que las formulaciones de cubiertas comestibles no modificaron el valor de la respiración de la fruta, es decir, que con y sin recubrimiento comestible la velocidad de respiración fue similar.

## **5.2. Efecto en la transpiración**

El principal componente de las frutas frescas (más del 70% del peso fresco), es el agua, el singular disolvente universal fundamental para todos los procesos vitales, los frutos tienen una gran tendencia a perder esta cantidad de agua mediante el fenómeno conocido como transpiración. Cuanto mayor sea la diferencia de presión de vapor (humedad relativa) entre el producto hortofrutícola y su entorno, mayor será esta pérdida de agua. En términos generales se estima que la pérdida de alrededor de un 5% del peso fresco por transpiración hace que el producto hortofrutícola sea no apto para el mercado.

Un fruto provisto de un recubrimiento comestible pierde agua más lentamente que los que carecen de esta protección, especialmente en frutos que se marchitan muy de prisa y van perdiendo atractivo para el consumidor, durante el almacenamiento y la comercialización. El recubrimiento reduce las pérdidas de agua y por lo tanto, la velocidad de marchitamiento en los frutos, mejorando el aspecto para su venta. Además, la velocidad a que pierden agua, puede reducirse en 30-50% en condiciones industriales.

### **5.3. Efecto en el control de las pudriciones y deterioro**

En un estudio realizado por El-Ghaouth *et al.* (1992) encontraron que cubiertas con concentraciones de 2% de quitosano controlaban mejor la infección por *Botrytis cinerea* en tomates, comparado con las cubiertas de 1% de quitosano. El-Ghaouth *et al.* (1991) observaron que fresas cubiertas con soluciones de 1.5% de quitosano presentaron 60% menos deterioro por *Botrytis cinerea* que el control a los 14 días de almacenamiento. Por otra parte, Romanazzi *et al.* (2003) reportan la reducción de este mismo hongo en uvas y cerezas cubiertas con quitosano. Estos autores atribuyen esos resultados a la combinación de sus propiedades antifúngicas y la capacidad de estimular mecanismos de defensa como la activación de quitinasa y la síntesis de fitoalexinas y otros compuestos.

### **5.4. Efecto en el control de fisiopatías**

El uso de recubrimientos ha demostrado un efecto mitigante de los daños por frío de algunas especies, cuya estructura anatómica del exocarpo permite su aplicación, además una ventaja adicional es la retención de la firmeza del fruto y puede constituir un vehículo para la aplicación de fungicidas. Para que sean efectivas, las ceras deben aplicarse de manera que se obtenga una cubierta uniforme del espesor adecuado.

### **5.5. Efecto en la calidad**

Los recubrimientos y las películas afectan a diversos parámetros como la pérdida de peso, la firmeza, el color. Sin embargo, cada variedad y tipo de producto vegetal presentará una respuesta distinta. A continuación se mencionan los principales efectos que se han reportado en frutos:

---

- Fermentación anaerobia

Varios problemas han sido asociados con recubrimientos comestibles como la fermentación anaeróbica de manzanas y plátanos (Smock, 1940). Niveles altos de corazón rojizo en manzanas (Smith y Stow, 1984) y el incremento de deterioro de pepinos (Risse *et al.*, 1987). Park *et al.* (1993) reportaron que los jitomates cubiertos espesamente mostraron una concentración muy baja de O<sub>2</sub> y muy alta de CO<sub>2</sub> y produjo etanol.

- Pérdida de peso

Las películas de zeína de maíz redujo la pérdida de peso en jitomates durante el almacenamiento (Park *et al.*, 1994). Las películas comestibles han sido aplicadas para reducir la pérdida de peso durante el almacenamiento. Las coberturas de cera resultaron una reducción marcada en la pérdida de peso de naranjas durante su almacenamiento (Ben-Yehoshua, 1969). Ligeras reducciones en pérdida de peso en bananas y manzanas fueron establecidas con cubiertas a base de éster de sacarosa (Banks, 1984; Smith y Stow, 1984).

Debeaufort *et al.* (1998) reportaron que las manzanas (*Golden delicious*) fueron tratadas utilizando una cobertura comestible de cera de carnauba almacenadas a 3 y 14°C. La pérdida de peso de las manzanas durante el período de conservación fue mayor para las almacenadas a 14°C y las manzanas no tratadas ya que está confirmada la importancia de la cubierta en el control de la migración de la humedad del producto para las manzanas conservadas a 3°C, no hubo diferencia significativa, ya que el hecho de que las manzanas recubiertas presentaron mayores pérdidas que los controles pueden ser debido a que el recubrimiento pudo estar actuando como agente sacrificante, o sea, el agua que primero sale es la del recubrimiento y evita la pérdida por el fruto.

Báez-Sañudo *et al.* (2002) reportó que melones tratados con agua caliente presentaron valores mayores de pérdida de peso (7.34 y 7.78% para agua caliente y agua caliente más cera, respectivamente) y menores en los frutos tratados con cera a temperatura ambiente y caliente.

De acuerdo a Roth (1977) a diferencia de otros frutos la capa cuticular que protege contra la pérdida de agua por transpiración se pierde desde las primeras etapas del crecimiento, y es sustituida por un tejido muy grueso denominado peridermo formado principalmente por tejido corchoso, el cual no ofrece el efecto antitranspirante mencionado. El menor porcentaje de

pérdida de peso registrado en los frutos encerados, se atribuye a la reducción del área abierta de la red por los sólidos de la emulsión, que restringe el transporte de vapor de agua desde el interior (Mendoza-Wilson *et al.*, 2001).

- Retraso en la maduración y aumento en la vida útil

Elson *et al.* (1985) y Davis *et al.* (1989) reportaron que en peras y manzanas cubiertas con “Nutri-Save” (N O-carboximetil quitosán) retardaron su maduración.

Navarro (2007) evaluó el comportamiento de recubrimientos comestibles a base de HPMC y cera de abeja en mandarinas ‘ortonique’ y concluye que el tipo de ácido graso del recubrimiento afecta la pérdida de peso, la firmeza, la barrera a los gases CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, los niveles de etanol y acetaldehído, de los ácidos grasos estudiados, el ácido oleico ofrece la mejor barrera al vapor de agua y a los gases (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>), disminuyendo la pérdida de peso, aumentando los niveles de etanol y acetaldehído.

- Efecto en pardeamiento

Un nuevo método fue desarrollado para extender la vida de anaquel y mejorar la calidad de productos frescos cortados. Recubrimientos y películas comestibles fueron hechas de puré de manzana con varias concentraciones de ácidos grasos, ceras, glicerol y aceite vegetal (McHugh y Senesi, 2000). McHugh *et al.* (1996) desarrollaron la primera película comestible hecha de puré de frutas. Los recubrimientos que contengan productos naturales como son 4-hexilresorcinol, ácido isoascórbico, N-acetilcisteína y propionato de calcio impiden el pardeamiento y mantienen la calidad de las manzanas rebanadas frescas durante el almacenamiento (Buta *et al.*, 1999).

Zhang y Quantick (1997) evaluaron el efecto de las cubiertas de quitosano en la inhibición del oscurecimiento en la piel de frutos de litchi. Estos autores encontraron que estas cubiertas eran capaces de disminuir el oscurecimiento, y este efecto lo atribuyeron a la disminución en el contenido de fenoles, la actividad de la polifenol oxidasa e inhibición parcial de la actividad de la enzima peroxidasa. Todos estos parámetros han sido relacionados directamente con los procesos de oscurecimiento de la piel y pulpa de diferentes productos vegetales (Whitaker y Lee, 1995).

- 
- Efecto en la firmeza

García *et al.* (1998) demuestran que un recubrimiento a base de amilosa y alto contenido en glicerol aplicado en fresas (*Fragaria ananassa*) almacenadas a 0°C y 84 %HR presentó un efecto benéfico sobre la retención de la firmeza hasta un 49.2% con respecto al control.

### **5.6. Efecto en las características sensoriales**

Los polímeros naturales tales como los polisacáridos y proteínas, son usados como apoyo en la industria de sabor, tienen altas propiedades de barrera contra la transferencia de aroma. Debido a su tamaño, forma y naturaleza, el aroma, los compuestos interactúan con los materiales de envasado. Estas interacciones principalmente son de dos tipos:

- ◆ Adsorción y/o absorción,
- ◆ O permeación, fenómenos como la migración “IN” para que la transferencia se produzca desde el exterior hacia el interior del embalaje, y la migración “OUT” correspondiente sobre la pérdida de solutos de los alimentos envasados hacia el medio circundante.

Las películas comestibles son muy interesantes para la retención de compuestos de aroma que figuran en los alimentos, o para evitar la migración de los olores al medio circundante (Quezada-Gallo *et al.*, 1999).

Park *et al.* (1994) indicaron un incremento en la dulzura y una reducción en la firmeza en jitomates cubiertas con zeína de maíz y no cubiertas. Asimismo, la pérdida de firmeza fue lenta en jitomates cubiertos como fue desarrollándose el color. Los recubrimientos presentaron un buen control de la deshidratación.

Las películas a base de carrageninas, las pectinas desmetoxiladas, el agar-agar son transparentes, inodoras y ligerísimamente saladas en el caso de haberseles añadido sales de calcio (Guilbert y Biquet, 2005).

Chien *et al.* (2007) reportaron que al aplicar un recubrimiento comestible a base de quitosán en mango almacenado a 6°C, trabajando con concentraciones de 0.5, 1 y 2%, encontraron que no existe diferencia significativa entre el porcentaje de acidez titulable. Otros trabajos reportan que

---

el efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de caseinato de sodio y de proteína de leche aplicado a cerezas modificaron significativamente la acidez titulable de los frutos, logrando un incremento en este parámetro con respecto a los grupos control debido al retraso de la maduración de los carbohidratos en azúcares simples.

**6. PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE EN LA CONSERVACIÓN DEL AGUACATE 'HASS' EN MÉXICO**

Las frutas y hortalizas frescas durante su manejo y almacenamiento producen cambios directos tales como la pérdida de agua, el pardeamiento enzimático, ablandamiento por rompimiento de tejidos, aumento en la tasa respiratoria y como consecuencia producción de etileno. Estos fenómenos fisiológicos son responsables de los cambios bioquímicos que conllevan a la degradación de propiedades sensoriales de las frutas y hortalizas recién cortadas. En México, la aplicación de técnicas que permiten controlar los factores alterantes en frutas frescas y cortadas son objeto de muchas investigaciones en el campo de la ciencia y la tecnología de los alimentos (Galletta *et al.*, 2004).

En este sentido, deben aplicarse técnicas de conservación, que combinadas o no, pueden mantener las propiedades originales del producto, alargando su vida útil sin que se pierdan las características sensoriales y nutricionales, asegurando además su estabilidad microbiológica. Es aquí donde el uso de recubrimientos y películas comestibles constituyen una interesante alternativa.

Por otro lado, existe la necesidad de contribuir con tecnologías baratas que puedan ser aplicadas en el campo mexicano con la finalidad de mejorar la calidad y vida poscosecha de los productos. Tal es el caso del aguacate, ya que a pesar de ser un fruto altamente rentable, los productores mexicanos enfrentan pérdidas económicas substanciales, debido a que es un fruto altamente perecedero. En aproximadamente 5 días después de la cosecha, este fruto completa su maduración bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad. Las principales pérdidas postcosecha en aguacate alcanzan valores de 25-50% y son causadas principalmente por: mal manejo, deterioro por diferentes microorganismos y almacenamiento inadecuado.

México es el principal productor, exportador y consumidor de aguacates en el mundo; produce aproximadamente un millón de toneladas, de las cuales el estado de Michoacán participa con el 88.5% de la producción nacional; además la exportación a los Estados Unidos proviene de 12 municipios de este Estado. Michoacán es el principal estado productor y exportador de aguacate 'Hass' producto que se consume tanto en México como en otros países como: Japón, Estados Unidos, Francia, la Unión Europea, Centroamérica, Canadá, Corea y China, entre otros mercados. En los últimos 10 años se han exportado casi 400 mil toneladas (SAGARPA, 2009).

El aguacate se produce prácticamente en todos los estados de la República, aunque en la mayoría a niveles mínimos. Sobresalen Michoacán, Morelos, Nayarit, Estado de México y Puebla y otros 22 estados más, que llegan a producir pequeñas cantidades de manera individual (figura 24).

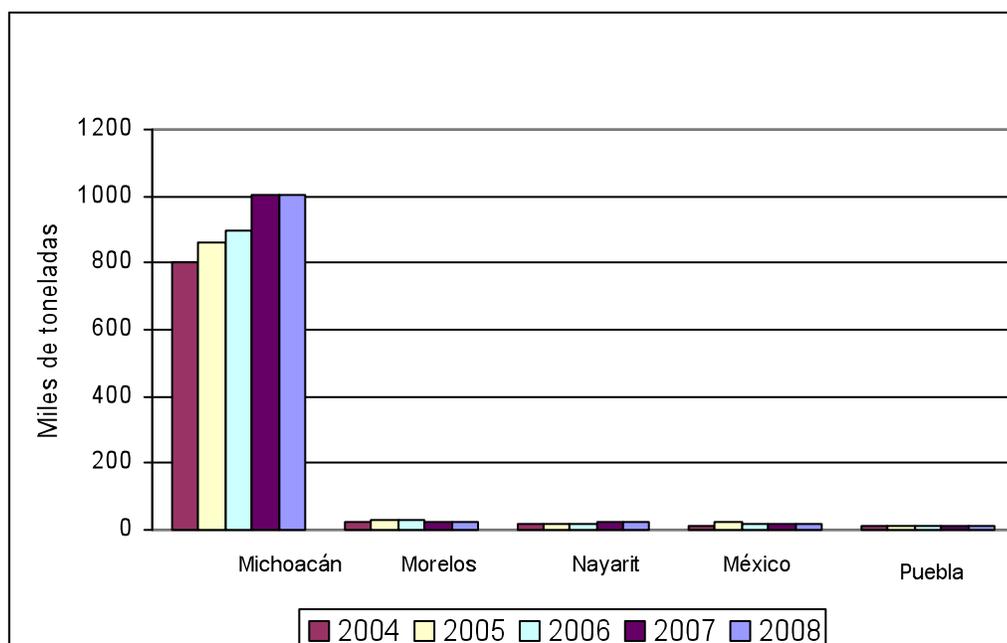


Figura 24. Volumen de producción de aguacate 'Hass' en México

Fuente: SAGARPA (2009)

La comercialización del aguacate en fresco sigue siendo la forma más común de distribuirlo (figura 25). Por ello en temporada alta (octubre-febrero) y media (marzo-mayo) de abasto, se tiene la intervención de un gran número de medio mayoristas en la comercialización. Estos se encargan de distribuir entre los comerciantes detallistas del mercado, los vastos volúmenes que concentran los principales mayoristas.

En cambio durante la temporada baja (junio-septiembre) cuando la oferta total representa entre el 64 y 54%, con respecto a la temporada media y alta, el grado de concentración se profundiza, ya que dejan de intervenir muchos de los medios mayoristas más destacados y elevan su participación como proveedores de los detallistas que continúan comercializando el producto.

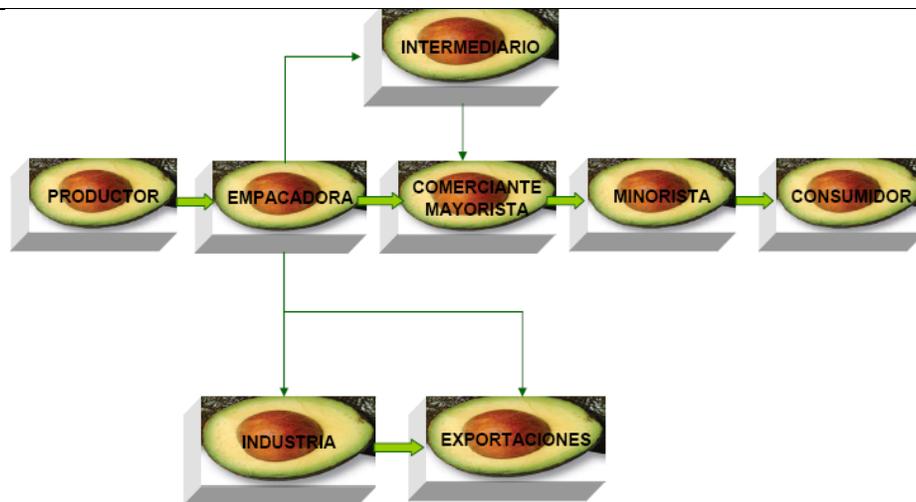


Figura 25. Circuito de Comercialización del aguacate en México

Fuente: SAGARPA-SIAP (2009)

De acuerdo a la Coordinación General de Abastos y Distribución (Coabasto) se conocen cinco canales de comercialización:

- Intermediario local en cual se comercializa cerca del 64% de la producción total.
- Intermediario de otras ciudades que comercializa un 15%.
- Empacadoras locales, contribuyen con el 15%.
- Comisionistas, participan con el 3%.
- Vinculación directa entre productor y comerciante mayorista, el cual comercializa sólo el 3%.

### 6.1. Descripción del aguacate 'Hass'

El aguacate se considera una baya, presenta un exocarpio grueso, mesocarpio carnoso y una capa muy delgada de endocarpio próxima a la cubierta exterior de la semilla. La testa es dura. El fruto es una baya unisemillada, oval, de superficie lisa o rugosa (Arévalo *et al.*, 2002).

Antes de 1963 la variedad de aguacate que predominaba en México era el criollo, altamente resistente a las plagas, pero a partir de ese año fue sustituido por algunas variedades injertadas al árbol endémico, entre ellas la del aguacate 'Hass' (figura 26), que cuenta con excelentes características de productividad, calidad (tanto en su contenido nutricional como en su presentación) y resistencia para su manejo comercial, por lo que ha llegado a ser el número uno en todo el país. En Michoacán se cultivan alrededor de 90 mil hectáreas de este producto (SAGARPA, 2009).

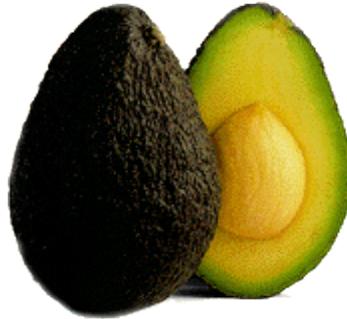


Figura 26. Aguacate variedad 'Hass'  
Fuente: Fresh California Avocados (2007)

En el caso de la variedad 'Hass' cuenta con un 10-15% de genes de la raza mexicana y el resto de la raza guatemalteca. La resistencia de acoplarse a diversas altitudes y climas templados se lo confiere la raza mexicana; por lo que esta característica permite que se cultive todo el año en el país.

Las principales características son (Téliz, 2000):

- El peso varía entre 170 y 350 g
- Pulpa cremosa de sabor excelente
- Sin fibra
- Presenta un contenido de aceite del 23.7%
- Cáscara algo coriácea, rugosa, color púrpura oscura al madurar
- Semilla pequeña y adherida a la cavidad
- El fruto puede mantenerse en el árbol por algunos meses después de la madurez fisiológica

## **6.2. Cambios fisiológicos y bioquímicos asociados a la maduración del aguacate**

El tipo de fruto y su forma de consumo constituyen los parámetros que definen la etapa de maduración en que ésta debe cosecharse; como el caso del aguacate que se cosechan cuando está en maduración fisiológica de tal forma que se pueda transportar o almacenar para que después alcancen su madurez comercial o de consumo.

---

Los cambios asociados en la madurez del fruto de aguacate son (Infoagro, 2007):

- **Cambios de color:** hay disminución del color verde en las frutas (clorofila) debido a una disminución de su contenido de clorofila ya que se descompone durante la maduración; la degradación de la clorofila ocurre en los cloroplastos e implica la presencia de la enzima clorofilasa, cambios en el pH y reacciones de oxidación. Después de desaparecer la clorofila comienza un incremento en la síntesis de pigmentos de color amarillo, naranja y rojo (carotenoides y antocianinas).
- **Cambios de sabor:** esto es debido a la hidrólisis de los almidones que se transforman en azúcares, por la desaparición de los taninos y otros productos causantes del sabor astringente y por la disminución de la acidez debido a la degradación de los ácidos orgánicos.
- **Cambios de aroma:** producción de compuestos volátiles frecuentemente aromáticos.
- **Cambios de textura:** en frutos de pulpa carnosa, como el aguacate, éste representa uno de los cambios más importantes, ya que afecta la capacidad de ser almacenado o transportado. La disminución de la firmeza se debe a la pérdida de rigidez estructural de la pared celular, ya que cambia en las frutas debido a la hidrólisis de los almidones y de las pectinas, por la reducción de su contenido de fibra y por los procesos degradativos de las paredes celulares. Las frutas se tornan blandas y más susceptibles de ser dañadas durante su manejo.
- **Pérdida de peso:** existe difusividad de gases durante la maduración de frutos, por ello la principal causa de deterioro del aguacate en almacenamiento es la pérdida de agua. El aguacate contiene alto contenido de agua (70%) y ésta se pierde principalmente en estado de vapor a través de rupturas primarias tales como heridas, estomas y cutícula, fenómeno conocido como transpiración. El agua libre se encuentra en células estrechamente unidas entre sí y se mueve a través de espacios intracelulares interconectados, donde el agua se vaporiza y satura el ambiente intercelular (HR superior al 95%), por ende, lo que se tiene es vapor de agua saturado. Las moléculas de agua del aguacate tienden a salir hacia fuera dándose una pérdida de agua que da lugar a una pérdida de peso (lo que crea un daño económico), sin embargo, si la estructura es compleja tendrá mas dificultad en salir, al igual si hay cera que recubra al fruto.

- **Respiración:** las frutas se dividen en dos grupos de acuerdo con su producción de etileno; frutas climatéricas y no climatéricas. En las climatéricas, la maduración está asociada con un incremento en la producción de etileno y un aumento en la tasa de respiración que coincide con los cambios de color, sabor y textura asociados a la maduración, como es el caso del aguacate (Arévalo *et al.*, 2002). En la figura 27 se ilustra el patrón respiratorio del aguacate y en la tabla 30 muestran los valores de respiración aguacate a diferentes temperaturas de almacenamiento de este fruto, en la tabla 31 se muestra la clasificación de algunos frutos de acuerdo a la tasa de respiración, mostrándose que el aguacate presenta una respiración que se considera alta.

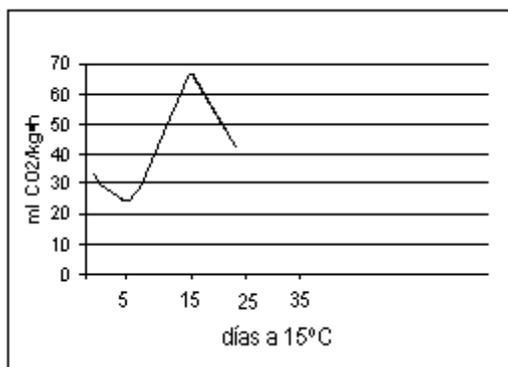


Figura 27. Patrón respiratorio del aguacate

Fuente: Infoagro (2007)

Tabla 30. Tasa de respiración del aguacate

Producto	Respiración (mg CO <sub>2</sub> /kg·h)		
	5°C	10°C	20°C
<b>Aguacate</b>	10-25	25-80	40-150

Fuente: Infoagro (2007)

Tabla 31. Clasificación de algunos productos hortofrutícolas según su ritmo de respiración

Tipo de respiración	Ritmo de respiración (mg CO <sub>2</sub> /kg·h)	Productos
Baja	5-10	Sandía, ajo, cítricos
Moderada	10-20	Zanahoria, pepino, mango, tomate
Alta	20-40	Aguacate, coliflor, lechuga
Muy alta	40-60	Brócoli, espinaca, perejil

Fuente: FAO (1989)

- **Tasa de producción de etileno:** los frutos tienen capacidad de sintetizar etileno, debido a la descarboxilación de los ácidos málico y pirúvico liberando por una parte CO<sub>2</sub> y por la otra produciendo acetaldehído y este a su vez etanol; el aumento en la cantidad de etileno se asocia con tejidos que estén en activa división celular, así como en aquellos que se encuentren bajo condiciones de estrés o en etapa de maduración (envejecimiento). Los frutos de aguacate no adquieren madurez de consumo en el árbol y la producción de etileno comienza después de la cosecha y aumenta considerablemente con la maduración a más de 100 µL/kg·h a 20°C (Infoagro, 2007). FAO (1989) clasifica al aguacate como clase alta, según su producción de etileno, como se describe en la tabla 32.

Tabla 32. Clasificación de algunas frutas según su producción de etileno.

Clase	Etileno (µL C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / kg·h a 20°C)	Frutas
Muy bajo	<0.1	Naranja, limón, lima
Bajo	0.1-1.0	Piña, melón, sandía
Moderado	1.0-10.0	Mango, plátano
Alto	10.0-100.0	Aguacate
Muy alto	>100.0	Maracuyá

Fuente: FAO (1989)

Los cambios que presenta la pulpa y la semilla van acompañados por la variación de ácidos grasos, humedad y azúcares. Por tal motivo estas características han sido propuestas como indicadores de la maduración del aguacate, o bien puede relacionarse con la variación de las propiedades físicas del producto durante el desarrollo (Arévalo *et al.*, 2002).

El ablandamiento de la pulpa del aguacate es uno de los cambios más importantes durante la maduración, la cual afecta su comestibilidad, la capacidad de ser almacenado o transportado y en algunos casos su posible transformación (Díaz *et al.*, 2002).

En la tabla 33 se presentan algunos cambios fisicoquímicos que ocurren en los tejidos durante la maduración del aguacate:

Tabla 33. Cambios fisicoquímicos durante la maduración del aguacate

<b>CAMBIOS</b>	<b>ATRIBUTOS PARA CALIDAD</b>	
Maduración de la semilla		
Cambios en pigmentación <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Degradación de clorofila</li> <li>➤ Síntesis de carotenoides</li> <li>➤ Síntesis de antocianinas</li> </ul>		Color
Pérdida de firmeza <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cambios en composición de pectina</li> <li>➤ Alteración de otros componentes de la pared celular</li> <li>➤ Hidrólisis de compuestos almacenados</li> </ul>		Consistencia
Cambios en composición de carbohidratos <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Conversión de almidón a azúcar</li> <li>➤ Interconversión de azúcares</li> </ul>		
Producción de compuestos aromáticos		
Cambios en ácidos orgánicos		Sabor
Caída de fruto		
Cambio en el patrón respiratorio		
Cambios en la velocidad de síntesis de etileno		
Cambios en permeabilidad de tejidos		
Cambios en proteínas <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cuantitativo</li> <li>➤ Cualitativo</li> </ul>		
Desarrollo de ceras en la superficie		

Fuente: Díaz *et al.*, (2002)

### 6.3. Temperatura y humedad relativa óptimas de almacenamiento del aguacate

El fruto respira por los estomas y la cutícula. Si se disminuye la temperatura bruscamente, el estoma no se cierra y por ahí es donde se produce la pérdida de agua. Nos interesa que en el exterior haya una humedad relativa alta, porque así la diferencia de presión de vapor es más pequeña y hay menos pérdida de agua. Pero esto puede ocasionar problemas porque si la humedad relativa (HR) es elevada pueden crecer con mayor facilidad los microorganismos. Si se requiere mantener la HR elevada debo tener bajas temperaturas para que los microorganismos

no crezcan. La temperatura óptima es de 5-13°C para aguacates verde-maduros (con madurez fisiológica o de cosecha) dependiendo del cultivar y de la duración a la baja temperatura. 2-4°C para aguacates con madurez de consumo. Temperaturas inferiores a las recomendadas aceleran el proceso de deterioro de la fruta.

La HR del aire en las cámaras de almacenamiento afecta directamente la calidad de mantenimiento del aguacate almacenado en ellas. Si es demasiado baja, es probable que, en la mayoría de los aguacates ocurra una deshidratación, si es demasiado alta, podría favorecer el desarrollo de putrefacción, especialmente en cámaras donde hay considerable variación de temperatura. El control del moho se vuelve particularmente difícil si la HR se aproxima al 100%, lo cual resulta en la condensación de humedad. Los hongos de superficie podrían crecer sobre las paredes, techos y contenedores, así como en los aguacates almacenados. La HR óptima de almacenamiento es 90-95% (Infoagro, 2007).

#### **6.4. Principales pérdidas postcosecha en aguacate**

##### **6.4.1. Daños mecánicos**

Las frutas y hortalizas son alimentos muy perecederos, debido principalmente al elevado contenido de agua que presentan y si no se pone especial cuidado durante la cosecha, manipulación y transporte se dañan rápidamente y ocasionan muchas pérdidas al productor. La manipulación negligente de los productos frescos ocasiona un deterioro en el fruto que provoca pudriciones y marchitamiento que causan un deterioro fisiológico anormal, hendiduras y grietas de la piel que aumentan rápidamente la pérdida de agua y enfermedades en el fruto (FAO, 1989).

Las principales lesiones mecánicas son (FAO, 1989):

1.- Prácticas de recolección poco adecuadas por parte de los agricultores que pueden ocasionar en el fruto:

- Impacto (golpe)
- Presión o compresión (movimiento físico)
- Magulladuras (reblandecimiento o manchas en la cáscara o pulpa ocasionadas por golpes, compresiones)

2.- Utilización para la cosecha de cajas inadecuadas, con astillas, clavos o grapas salientes.

- Picaduras (heridas más o menos profundas ocasionadas por medios mecánicos o por depredadores como aves, roedores u otros)

- Raspaduras (lesiones causadas en la cáscara de las frutas, por un roce violento)

3.- Colocación excesiva o insuficiente de frutos en las cajas, que causa vibración durante el transporte, en la mayoría de las ocasiones por empaque sueltos.

4.- Manipulación poco cuidadosa durante la clasificación, transporte o comercialización, que provoca abrasión por el roce que se produce de unas con otras.

### **6.4.1.1. Desórdenes fisiológicos**

Los desórdenes fisiológicos de fruto se desarrollan después de que el fruto inicia la madurez y el más común en aguacate es el daño por frío. Este desorden es muy frecuente en frutos que han sido almacenados o transportados en refrigeración, pero por debajo de su temperatura óptima (cerca de 5.5 °C) por periodos prolongados. Además de la nutrición, el cultivar, el estado de madurez, la localidad, las prácticas de riego, el porta injerto y el rendimiento del árbol pueden afectar la susceptibilidad del fruto a los desórdenes internos (FAO, 1989).

Daños por frío: La temperatura es el factor ambiental más efectivo para controlar la maduración de los productos hortofrutícolas. Sin embargo, para asegurar una conservación exitosa se requiere manejar correctamente este factor para lo cual se logra refrigerando a temperaturas bajas y específicas, pero nunca inferiores a 0°C. Los principales síntomas de daños por frío son manchas negras en la epidermis y una decoloración gris o café obscura en el mesocarpio. Sin embargo, estos síntomas sólo se hacen claramente evidentes hasta cuando los aguacates alcanzan su madurez de consumo, lo cual en ciertos casos ya es muy tarde para efectos de comercialización. Dentro de los diversos síntomas de daños por frío que pueden presentarse en el aguacate está la alteración del metabolismo interno, lo que causa un incremento en los niveles de los productos de la respiración anaeróbica y otros metabolitos anormales, resultando la aparición de sabor y aroma desagradables (Infoagro, 2007). Los desórdenes fisiológicos de la pulpa del fruto del aguacate más frecuentes son (FAO, 1989):

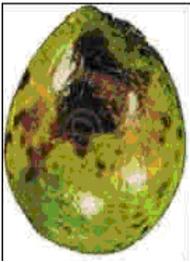
- Oscurecimiento de haces vasculares
- Pulpa gris
- Mancha de la pulpa
- Deficiencia o exceso de nutrimentos

### **6.4.2. Enfermedades más comunes del aguacate**

Existen muchas causas que provocan la pérdida postcosecha de los frutos de aguacate, como los daños mecánicos, desordenes fisiológicos y las enfermedades, ésta última resultando muy

perjudicial para los productores porque hay algunas de las enfermedades que no se detectan a tiempo sólo cuando es la cosecha o están maduros, lo cual repercute en la distribución y comercialización del fruto. Dos de las enfermedades más comunes en el fruto del aguacate se encuentran en la tabla 34.

Tabla 34. Enfermedades más comunes del aguacate

Nombre	Agente Causal	Consecuencias
 <p><b>Mancha negra o cercóspora</b></p>	<p>(<i>Cercospora purpura</i> Cooke)</p>	<p>Ataca a las hojas y produce pequeñas lesiones de color marrón oscuro, puede causar su caída, en los frutos produce lesiones pequeñas y resquebrajamiento de la corteza, dichas lesiones facilitan la entrada de patógenos como <i>Colletotrichum</i></p>
 <p><b>Mancha negra o Antracnosis</b></p>	<p>(<i>Colletotrichum gloeosporoides</i>)</p>	<p>El hongo infecta el fruto durante el periodo de desarrollo en el campo permaneciendo latente mientras el fruto tenga una consistencia dura. Durante la maduración del fruto la infección se extiende hacia la pulpa causando coloración oscura, con aparición de manchas circulares en la piel y el centro de estas puede hundirse o agrietarse. La pudrición puede penetrar la pulpa e inducir pardeamiento y rancidez</p>

Fuente: INFOAGRO (2007)

#### **6.4.2.1. Importancia de la antracnosis**

La antracnosis es una enfermedad endémica (se presenta cada año), que daña la apariencia del fruto y causa problemas en su comercialización (figura 28). La enfermedad se ha observado con alta incidencia en el estado de Michoacán sobre la variedad 'Hass', México, Morelos y Guanajuato.



Figura 28. Lesiones en fruto de aguacate por antracnosis

Fuente: INFOAGRO (2007)

### **6.5. Aplicación de un recubrimiento comestible combinado en aguacate 'Hass' para alargar su vida útil**

Este apartado fue planteado y desarrollado tomando en cuenta los aspectos anteriores, ya que es necesario e importante seguir investigando en el área de los materiales biodegradables, para que tal vez, en un futuro, el recubrimiento comestible compuesto, propuesto en este capítulo, puedan ser una realidad como material de empaque a escala industrial y aplicado en nuestro país. Debido a su alto costo y corta vida útil del aguacate la aplicación de recubrimientos podría ser una buena alternativa tecnológica.

Como se mencionó anteriormente una de las aplicaciones de las películas comestibles es directamente a los frutos, ya que están sujetos a la transpiración (pérdida de agua) así como también a la respiración después de la cosecha, y como resultado, estos son expuestos a deterioros físicos y microbiológicos que pueden resultar en cambios indeseables. Extender la vida útil del aguacate implica el lavado de la fruta y aplicación del recubrimiento comestible.

Los cambios a controlar en la post-recolección son: respiración, transpiración y maduración (producción de etileno). La cantidad de oxígeno a la que se exponen los aguacates después de ser cosechados influirá en la cantidad y velocidad de respiración de los frutos. El aguacate 'Hass' verde-maduro puede conservarse a 5°C en 2% CO<sub>2</sub> y 3-5% CO<sub>2</sub> por 9 semanas, las concentraciones >10% CO<sub>2</sub> pueden incrementar el pardeamiento de la piel y pulpa y la generación de sabores desagradables, especialmente cuando el O<sub>2</sub> se encuentra en concentraciones <1% (Infoagro, 2007). Conforme el contenido interno de oxígeno baja, la respiración, se reduce, y viceversa; en algunas especies como el aguacate, el incremento respiratorio es progresivo y alcanza un máximo cuando llega a 18% de oxígeno para después mantenerse ahí. Aun cuando los frutos climatéricos se distinguen por el aumento de respiración,

la intensidad y duración de tal incremento resulta diferente dependiendo de la especie frutal, como el caso del aguacate que presenta una tasa de respiración muy pronunciada pero corta.

La elaboración de un recubrimiento comestible emulsificado a base de quitosán y cera de candelilla puede reducir las pérdidas postcosecha de aguacate 'Hass' en México, ya que protege mecánicamente a esta fruta. La elección del recubrimiento compuesto de hidrocoloide y lípido se basa teniendo en consideración los principales factores del deterioro de las frutas. Puesto que las pérdidas de calidad de las frutas se asocian a procesos metabólicos de respiración y transpiración, los recubrimientos deben cumplir la doble función de barrera a los gases y al vapor de agua.

México es uno de los países con mayor producción de camarones al ocupar el séptimo lugar a nivel mundial (casi 100 mil toneladas de peso vivo durante 2001, según datos de Sagarpa), la quitina y sus derivados tienen uso potencial en diferentes países, en México es prácticamente un tema nuevo, no obstante, ya existe una empresa que comienza a abrirse camino en este campo: Neptuno, ubicada en Sonora. Representantes de Neptuno comentaron que, junto con un grupo de investigadores, llevan a cabo una serie de actividades como participar en exposiciones o en conferencias para promover sus productos, a pesar de que mundialmente el uso de la quitina y sus derivados va en aumento. La quitina en el mercado tiene un costo aproximado de US\$20 por kilo, mientras que el quitosán de baja calidad llega a US\$70 por kilo (García, 2006).

La cera de candelilla provee alta permeabilidad al  $O_2$  y  $CO_2$  así los productos recubiertos poseen niveles internos adecuados de  $O_2$  y  $CO_2$  lo que reduce la tendencia al desarrollo de sabores extraños, la cera de candelilla es reconocida por la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés), como una sustancia natural segura - GRAS, Generally Recognized As Safe - para su aplicación en la industria alimenticia, por lo cual es ampliamente utilizada en diversos sectores del ramo. Existen antecedentes de uso de cera de candelilla como agente para recubrir y mejorar la apariencia de diversos frutos (Bosquez, 2003), sin embargo, no existen estudios en la literatura que demuestren el empleo de dicha cera en la formulación de cubiertas comestibles emulsificada. En México, el costo de 500g de cera de candelilla es \$88.04 MN.

El objetivo de la propuesta tecnológica es integrar un recubrimiento a base de quitosán y cera de candelilla usando glicerol (0.25 ml/g de quitosán) como plastificante para impartir flexibilidad a la vez que se incrementa la movilidad del polímero, implicando con ello la modificación en los valores de permeabilidad al vapor de agua; se ha demostrado que a menor concentración de

glicerol en películas de quitosán dan como resultado películas más transparentes y luminosas (Díaz *et al.*, 2002; Casariego *et al.*, 2002a, Casariego *et al.*, 2002b). El emulsificante propuesto es tween 80. La adición de glicerol, tween 80 y cera al recubrimiento aseguran la permeabilidad al vapor de agua y mejoran las propiedades mecánicas como elongación, fuerza de tensión y módulo elástico.

En la figura 29 se expone el proceso propuesto de la aplicación del recubrimiento comestible al aguacate 'Hass'.

**Recepción:** una vez que llegan los aguacates a la empacadora los bins son descargados dentro de la línea de empaque, se vacían directamente a graduadores y bandas transportadoras. Muchas veces el producto se vacía en tambores secos o con agua. En los tambores secos la caja se cubre con un forro acojinado y el producto se libera a través de una abertura controlada.

**Selección:** el propósito de la selección es remover las frutas que sean impropias para el mercado en fresco haciendo una separación en dos o más grados de los residuos, basándose en el color de la superficie, condición o defectos visuales. Se eliminan los frutos dañados, golpeados, magullados o deformes que no cumplen con los requerimientos de calidad (González-Aguilar *et al.*, 2005). Los aguacates son transportados con bandas hacia un equipo clasificador donde se seleccionan los frutos en buenas condiciones y se eliminan los dañados. La mesa de selección simple consiste en un elevador de rodillos, situado normalmente en posición horizontal, y una cinta transportadora para destríos o calidades inferiores. Los rodillos se apoyan sobre guías de madera en su movimiento de avance, de manera que adquieren un movimiento de rotación que hace girar la fruta, con el fin de verla en su totalidad. La cinta puede estar situada encima o debajo del elevador.

**Preenfriamiento:** consiste en disminuir la temperatura del producto rápidamente hasta la ambiente para evitar la proliferación de microorganismos, esto se hace empleando temperaturas entre 5° y 10°C en cámaras de refrigeración. Se colocan los aguacates en almacenes a 8°C, permaneciendo en estos cuartos fríos hasta que se saca para ser empacado. La pre-refrigeración de los frutos reduce los riesgos de daño por frío, siendo recomendable realizar el enfriamiento en 12 horas hasta la temperatura de 8°C, con esto se persigue retrasar la elevación climática y por tanto el riesgo de alteración.

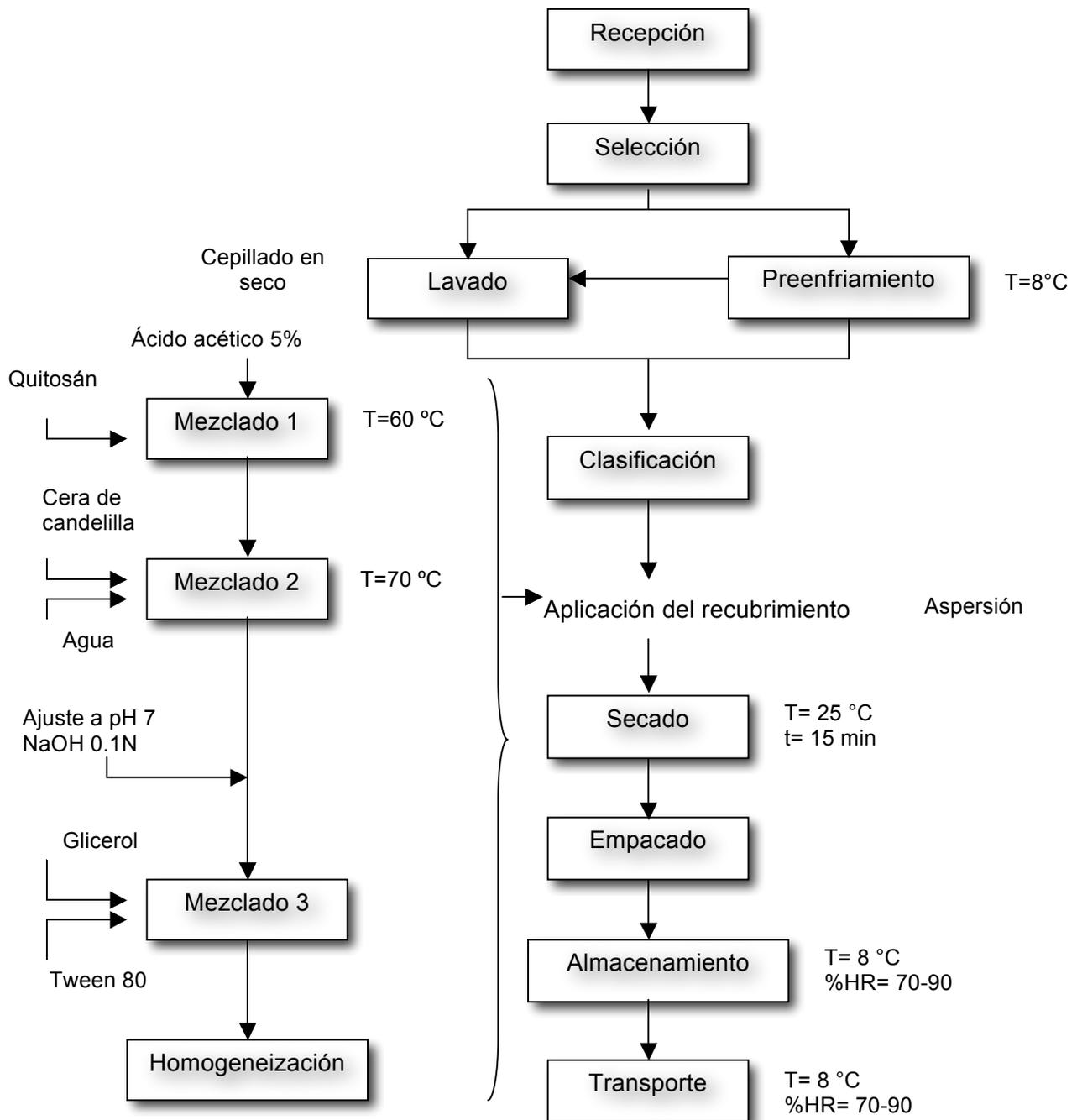


Figura 29. Diagrama de bloques propuesto para la aplicación del recubrimiento en aguacate fresco

**Lavado:** los productos que se van a envasar necesitan estar perfectamente limpios para evitar el desarrollo de microorganismos que generalmente se encuentran en su superficie; la limpieza puede ser de dos tipos: húmeda y seca, cuando los productos están muy sucios se emplean los

dos métodos, aunque también depende de la naturaleza de la fruta. Cuando se realiza la limpieza húmeda es necesario eliminar el exceso de agua libre que queda en la superficie, haciéndola pasar por un túnel de aire a una temperatura de 35°C para garantizar una humedad relativa del 85% para evitar la deshidratación. Al agua de lavado se le agregan fungicidas, antimicrobianos. En el caso del aguacate se recomienda limpieza seca, la cual se lleva a cabo con cepillos rotatorios.

**Clasificación:** las frutas una vez en bandas transportadoras pasan hacia un equipo clasificador donde se acomodan de acuerdo al tamaño de los aguacates. Cuenta con un programa para el control de la máquina por medio de una PC, así como tarjetas para activar las salidas digitales. El calibre del aguacate está relacionado al número de frutos que caben en una caja de 4 kg. Por ejemplo el calibre ocho refiere a que ocho de esos aguacates completan una caja (Gallegos y Osnaya, 1997).

**Aplicación del recubrimiento:** los recubrimientos se usan para reducir las pérdidas de agua, para reemplazar las ceras naturales que se perdieron durante el lavado y la limpieza, para cubrir heridas, además pueden combinarse con fungicidas o reguladores del crecimiento. La experiencia adquirida en estudios realizados indica que para lograr mejores resultados, el recubrimiento debe realizarse antes del inicio de la maduración del fruto (Rodríguez *et al.*, 2000). El método utilizado para la aplicación de las películas es el de aspersion, dejando una capa uniforme en ellos para su posterior secado. Para la elaboración del recubrimiento se propone la siguiente formulación:

Tabla 35. Formulación propuesta para la elaboración del recubrimiento comestible para aguacate fresco

Matriz del recubrimiento comestible	Plastificante + aditivo
Quitósán al 1% + cera de candelilla (3:1)	Glicerol (0.25 ml/g quitósán); Tween 80 (0.5%)

Una solución de quitósán al 1% (p/v) se elabora disolviéndose en ácido acético al 5% a una temperatura de 60°C, a continuación se deja reposar la solución hasta que desaparezcan las burbujas creadas por la agitación al realizar el mezclado, se procede a adicionar la cera de candelilla previamente disuelta en agua a 70°C y se neutraliza a pH 7, posteriormente se

adiciona el glicerol y el tween 80 para después homogeneizar la solución. Dicha solución se vierte en la enceradora y permanece a una temperatura de 30°C, los aguacates son transportados por una banda de rodillos y se procede a su secado.

**Secado:** en un túnel por medio de aire forzado a 25 °C durante 15 minutos.

**Empacado:** los frutos son empacados en cajas de 4 kg. Pasa a ser paletizado y posteriormente almacenado en cámaras de refrigeración. Las cajas son acomodadas en paletas de 1.2 m x 1.2 m, pudiendo apilar 20 camas por paletas, que luego son enzunchadas para asegurar la carga. Cada pallet contiene aproximadamente 240 cajas.

**Almacenamiento:** El objetivo de la refrigeración es que el deterioro sea más lento, para ello se disminuye la temperatura. Temperatura óptima de 8°C y el %HR= 70-90 (Infoagro, 2007).

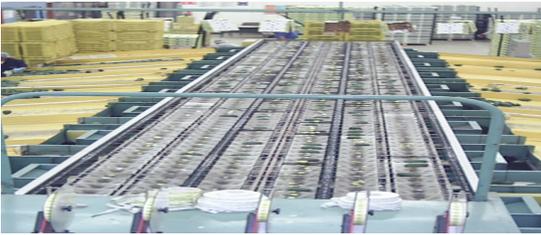
En la tabla 36 se hace una descripción de los equipos necesarios para la aplicación del recubrimiento comestible en aguacate fresco

### **6.6. Condicionantes legales relativos al uso de envases comestibles**

La consideración de esta forma de envasado desde el punto de vista legal es otro aspecto relevante a tener en cuenta. ¿Deben ser considerados como envases o bien como ingredientes de un alimento, o por el contrario hay que clasificarlos simplemente como aditivos? La respuesta no es sencilla, dado que en la actualidad no existen regulaciones en la UE que especifiquen de qué manera deben clasificarse. En este sentido, será necesario tener en cuenta la finalidad principal por el que se aplica una película comestible a un determinado alimento para esclarecer cómo debe ser considerado (Debeaufort *et al.*, 1998). En función de ello será necesario recurrir a una u otra normativa. Si la sustancia en cuestión se considera un aditivo, lo que es lo más habitual, se debe consultar el Real Decreto 145/1997 de 31 de enero, por el que se aprueba la lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización y se basa en una Propuesta de Directiva del Consejo de la Unión Europea sobre aditivos alimentarios distintos de los colorantes y edulcorantes. Por el contrario, en Estados Unidos su uso vigente regulado por la Food and Drug Administration (FDA) y se permite siempre que pueda probarse la inocuidad de la sustancia empleada y que su empleo responda al de las buenas prácticas de elaboración (Solvía y Martín-Belloso, 2001).

Tabla 36. Equipos propuestos para el proceso de la aplicación del recubrimiento comestible en aguacate

Operaciones	Características
<p style="text-align: center;"><b>◆ Volcadora de bins</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Utilizados para alimentar la línea de limpieza y selección</li> <li>-Voltea el bins en 135°, por medio de cilindro Oleohidráulico</li> <li>-Motor de 2 HP</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>◆ Mesa de selección</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La mesa de selección simple consiste en un elevador de rodillos, situado normalmente en posición horizontal, y una cinta transportadora para destríos o calidades inferiores</li> <li>-Los rodillos se apoyan sobre guías de madera en su movimiento de avance, de manera que adquieren un movimiento de rotación que hace girar la fruta, con el fin de verla en su totalidad</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>◆ Cámaras de refrigeración</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cámara de refrigeración a 8°C.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>◆ Limpieza en seco</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de limpieza en continuo desde 400 kg/h hasta 2000kg/h, provista de banda transportadora para productos delicados</li> </ul>

<p><b>◆ Clasificadora</b></p> 	<p>-Tiene de 1 a 8 líneas corriendo cada línea hasta 18 charolas por segundo, y el sistema de salidas digitales puede crecer hasta 40 salidas</p>
<p><b>◆ Enceradora</b></p> 	<p>-Consta de cepillos para el reparto uniforme de ceras o fungicidas          -Construido en acero inoxidable          -La velocidad de rotación de cepillos regulable, cepillos de pelo mezcla 50% natural y sintético, preinstalación de barrendera y motorizada          -Bandejas de desagüe inclinadas de fácil limpieza</p>
<p><b>◆ Secador</b></p> 	<p>- Sistema de aire forzado. La estructura de la cara superior tiene efecto amortiguador, aplaca y absorbe las vibraciones e impactos dados por los materiales transportados y simultáneamente evita deslizamientos</p>
<p><b>◆ Empacado</b></p> 	<p>-Acomodo del aguacate en cajas</p>
<p><b>◆ Almacenamiento</b></p> 	<p>-Almacenamiento en cámaras de refrigeración</p>

---

**6.7 Beneficios y limitaciones de la aplicación de recubrimientos**

Beneficios

- Al aplicar los recubrimientos en aguacate se conservarán por más tiempo, mejorando la calidad, controla la maduración, senescencia.
- Control del crecimiento de hongos que ocasionan la alteración del deterioro del producto y senescencia.
- Inhibe algunos procesos bioquímicos tales como la actividad enzimática, retrasando la maduración.
- Disminución de síntomas de daños por frío en el fruto.
- Ofrece al consumidor una excelente propuesta a escala comercial.

Limitaciones

- Algunas formulaciones de recubrimientos pueden provocar formación de aromas y sabores anómalos.
- El coste del proceso puede incrementarse ligeramente.
- Control del espesor del recubrimiento comestible.

---

### CONCLUSIONES

- Las películas comestibles pueden resultar una forma innovadora y efectiva de proteger al alimento, reduciendo, al mismo tiempo, el uso de envases no recuperables.
- El desarrollo y el uso de recubrimientos comestibles está motivada por la calidad, la estética y los factores económicos.
- Las películas comestibles son un sistema de envasado con una elevada potencialidad, dado que las tendencias recientes de conservación de alimentos conjugan la obtención de productos más saludables y procesados mediante técnicas menos agresivas al medio ambiente.
- Las películas comestibles eficaces podrían evitar la deshidratación de productos, modificar la atmósfera interior del producto para retardar la senescencia, actúan como una barrera contra la invasión microbiana, y servir como soporte de aditivos tales como antioxidantes, saborizantes, colorantes, e incluso nutrientes.
- La aplicación selectiva de antimicrobianos a los alimentos adecuados y el buen control de las condiciones ambientales son necesarias para garantizar la estabilidad microbiana. Los agentes antimicrobianos pueden inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y contribuir a la seguridad alimentaria y a la extensión de la vida útil de los alimentos envasados.
- Las interacciones entre el envase y el aroma del alimento implicados pueden tener un impacto en la calidad de los alimentos. Una de las soluciones para limitar las interacciones entre compuestos volátiles y plásticos es mantener los aromas dentro de los productos alimenticios mediante la adición de una barrera: película protectora comestible, esto es una macroencapsulación de los alimentos con el objetivo de liberar el control de aroma.
- Estudios sobre el uso de recubrimientos comestibles aplicados *in vivo*, sobre frutas y hortalizas son necesarios en condiciones de almacenamiento comercial para lograr un éxito en la aplicación de esta tecnología.

- 
- En la actualidad se siguen mejorando las formulaciones por la mayor demanda del consumidor de productos más sanos y frescos. Las películas comestibles son una buena alternativa de envasado natural y biodegradable.
  - Es importante considerar las propiedades mecánicas en la elaboración de recubrimientos comestibles para frutas y hortalizas frescas en cuanto a su forma de almacenamiento.
  - Los considerables esfuerzos en el desarrollo de películas y recubrimientos comestibles de proteínas y polisacáridos aún no se han producido muchas aplicaciones comerciales. Pero aún teniendo en cuenta el número de ventajas, así como la rápida expansión de los esfuerzos de investigación en materiales alternativos, es razonable anticipar que el futuro en el envasado de alimentos corresponde a películas comestibles.
  - El empleo de películas y recubrimientos comestibles constituye una interesante oportunidad para mejorar la calidad, estabilidad y salubridad de muchas frutas y hortalizas en México, sin embargo, debido a las limitadas prestaciones de estos envases comestibles, con frecuencia es necesario limitar su uso a una única aplicación elegida en función de la naturaleza del alimento y de su primer modo de deterioro.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Allen, L., Nelson A., Steinberg, M., McGill, J. (1963) Edible corn carbohydrate food coatings. I: Development and physical testing of a starch-Algin coating. *Food Technol.* 17: 1437-1441.
2. Alvarado, J. y Aguilera, J. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Acribia. Zaragoza, España.
3. Anker M., Standing, M., Hermansson, A. (1999). Effects of pH and the gel state on the mechanical properties, moisture contents, and glass transition temperatures of whey protein films. *J. Agric. Food Chem.* **43** (47):1878-1886.
4. A.O.A.C. (1984). *Official methods of analysis*. 14<sup>th</sup> Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. 1141 pp.
5. Arévalo, L., Saucedo, C., Bustos, E., González, H. (2002). Maduración de frutos de aguacate Hass tratados con irradiación gamma. *Agrociencia.* **36** (006):667-673.
6. Artz, W. (1990). Emulsifiers. In: A. Branen, P. Davidson, S. Salminen (Eds.). Marcel Dekker. New York.
7. Assis, O., Pessoa, J. (2004). Preparation of thin films of chitosan for use as edible coatings to inhibit fungal growth on sliced fruits. Scientific Note, *Braz. J. Food Technol.* 7: 17-22.
8. Avena-Bustillos, R. y Krochta, J. (1993). Water vapor permeability of caseinate-based edible films as affected by pH, calcium crosslinking and lipid content. *Journal of Food Science.* **52** (4):904-907.
9. Avena-Bustillos, R. y Krochta, J. (1994). Optimization of edible coating formulations on zucchini to reduce water loss. *J. Food Eng.* 21:197-214.
10. Avena-Bustillos, R., Krochta, J., Saltveit, M. (1997). Water vapor resistance of red delicious apples and celery sticks coated with edible caseinate-acetylated monoglyceride films. *J. Food Sci.* **62** (2):351-354.
11. Ayala, J., Villegas, O., Cuamea, N., González-Aguilar, G. (2005). *Compuestos volátiles de origen natural. Nueva alternativa para la conservación*. Capítulo 14. En: González-Aguilar, G., Gardea, A., Cuamea-Navarro, F. (Eds). Nuevas tecnologías en conservación de productos vegetales frescos cortados. Logiprint Digital, México.
12. Aydt, T., Weller, C., Testin, R. (1991). Mechanical and barrier properties of edible corn and wheat protein films. Transactions of the ASAE. **34** (1):207-211.

13. Báez-Sañudo, R., Saucedo, C., Pérez, B., Bringas, E., Mendoza, A. (2002). Efecto de la aplicación de cera comestible y agua caliente en la conservación de melón reticulado. *Revista Fitotec.* **25** (4):375-379.
14. Baldwin, E. (1994). *Edible coatings for fresh fruits and vegetables: past, present, and future*. In: Edible coating and films to improve food quality. Basel, Switzerland; Technomic Publishing Co.
15. Baldwin, E., Nisperos-Carriedo, M., Baker, R. (1995). Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *HortSci.* 30:35-37.
16. Baldwin, E., Nisperos, M., Hagenmaier, R., Baker, R. (1997). Use of lipids in coatings for food products. *Food Technol.* 51:56-63.
17. Banker, J. (1966). Film coating theory and practice. *J. Pharm. Sci.* 55:81-89.
18. Banks, N. (1984). Some effects of TAL pro-long coating ripening bananas. *J. Expert. Bot.* 35:127-134.
19. Banks, N. (1985). Internal atmosphere modification in pro-long coated apples. *Acta Hort.* 157:105-122.
20. Ben-Yehoshua, S. (1969). Gas exchange, tranporatation and commercial deterioration in storage of stored fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94:524-528.
21. Bertuzzi, M., Armada, M., Gottifredi, J., Jiménez, P. (2002). Estudio de la permeabilidad al vapor de agua de films comestibles para recubrir alimentos. Congreso Regional de Ciencia y Tecnología NOA 2002. Buenos Aires Argentina.
22. Beuchat, L. (2001). *Control of foodborne pathogens and spoilage microorganisms by naturally occurring antimicrobials: microbial food contamination*. Wilson CL. S Droby. (Ed.). CRC Press. London, UK.
23. Biquet, B., y Labuza, T. (1988). *Effect of the moisture permeability characteristics of chocolate films as an edible moisture barrier*. *J. Food Sci.* 53:177-186.
24. Bosquez, M. (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 Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma Metropolitana. 1-125 pp.
25. Bosquez, M., Vernon, C., Pérez, F., Guerrero, L. (2000). Películas y cubiertas comestibles para la conservación e fresco de frutas y hortalizas. *Industria Alimentaria.* 1:4-36.
26. Bought, W., Salter, W., Wu, A., Perkins, B. (1978). Influence of manufacturing variables on the characteristics and effectiveness of chitosan products, chemical compositions,

- viscosity and molecular-weight distribution of chitosan products. *Biotechnology and Bioengineering*. **20**:1931-1950.
27. Brancoli, N., y Barbosa-Cánovas, G. (2000). *Quality changes during refrigerated storage of packaged apple slices treated with polysaccharide films*. In: GV Barbosa-Cánovas, GW Gould (Eds.). *Innovations in Food Processing*. 243-254 pp. Pennsylvania: Technomic, Publishing Co.
  28. Brandenburg, A., Weller, C., Testin, R. (1993). Edible films and coatings from soy protein. *Journal of food science*. **58** (5):1086-1089.
  29. Brunner, J.R. (1977). *Milk proteins in "food proteins"*. J.E. Vandegaer (Ed.). Pum Press. New York. 57-69 pp.
  30. Budi Santosa, F. y Padua Wild, G. (1997). Tensile properties and water absorption of zein sheets plasticized whit oleic and linoleic acids. *J. Agric Food Chem*. **43** (47):2070-2074.
  31. Bureau, G. y Multon, J. (1995). *Embalaje de los alimentos de gran consumo*. Acribia. Zaragoza, España.
  32. Buta G., Moline H., Spaulding D., Wang, C. (1999). Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products and their derivatives. *J. Ag. Food Chem*. 47:1-6.
  33. Butler, B., Vergano P., Testin, R., Bunn, J., Wiles, J. (1996). Mechanical and barrier properties of edible chitosan films as affected by composition and storage. *Journal of Food Science*. **61** (5):953-955.
  34. Cagri, A. (2004). Review: antimicrobial edible films and coatings (Abstract). *Journal of Food Protection*. **67**:833-848.
  35. Caner, C., Vergano, P., Wiles, J. (1998). Chitosan film mechanical and permeation properties as affected by acid, plasticizer, and storage. *Journal of Food Science*. **63**, (6):1049-1053.
  36. Casariego, A., Cossío, G., Díaz, R., Fernández, S., Ramírez, A. (2002a). Propiedades ópticas de películas de quitosana elaboradas con ácido láctico: influencia de la concentración de ácido y el tipo y concentración de plastificante. *Alimentaria*. 25:25-28.
  37. Chang, Y., Gheah, P., Seow, C. (2000). Plasticizing-Antiplasticizing effects of water on physical properties of tapioca starch films in the glassy state. *Journal of Food Science*. **65** (3):445-451.
  38. Charalambus, G. y Doxastakis, G. (1989). *Food emulsifiers*. Elsevier. USA.
  39. Chen, H. (1995). Functional properties and applications of edible films made of milk proteins. *Journal Dairy Science*. **78**:2563-2583.

40. Chien, P., Sep, F., Yang, F. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *J. Food Eng.* 78: 225-229.
41. Corbo, M., Lanciotti, R., Gardini, F., Sinigaglia, M., Guerzoni, M. (2000). Effects of hexanal, trans-2-hexanal, and storage temperature on shelf life fresh sliced apples. *J. Agric. Food Chem.* 48:2401-2408.
42. Crank, J. (1975). *The mathematics of difusión*. Clarendon Press, Oxford, England.
43. Cunningham, F. y Cotterill, O. (1962). Factors affecting alkaline coagulation of egg white. *Poultry Sci.* 41:1461-1463.
44. Cuq, B., Gontard, N. y Guilbert, S. (1998). Proteins as agricultural polymers for packaging production. *Cereal chemistry.* 75:1-9.
45. Davidson, P. y Zivanovic, S. (2003). *The use of natural antimicrobials*. En: Zeuthen P, L Bogh-Sorensen. (Ed). *Food preservation techniques*. Washington, D.C., USA.
46. Davis, D., Elson, C., Hayes, E. (1989). *N, O-Carboximethyl chitosan, and new water soluble chitin derivative*. 4<sup>th</sup> Intl. Conf. On Chitin and Chitosan, Trondheim, Norway, August. 22-24 pp.
47. Deasy, P. (1984). *Microencapsulation and related drug processes*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.
48. Debeaufort, F., Gallo, J., Delporte, B., Voilley, A. (2000). Lipid hydrophobicity and physical state effects on the properties of bilayer edible films. *Journal of membran Science.* 180:47-55.
49. Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J., Voilley, G. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Crit. Rev. Food Sci.* 38:299-313.
50. Debeaufort, F., y Voilley, A. (1994). Aroma compound and water vapor permeability of edible films polymeric packagings. *J. Agric. Food Chem.* 42:2871-2875.
51. De Gier, J., Mandersloot, J., Van Deenen, L. (1968). Lipid composition and permeability of liposomes. *Biochim. Biophys. Acta.* 150:666-677.
52. Díaz, R., Casariego, A., González, J., Paredes, K., Torres, Z., Fernández, S. (2002). Evaluación de las propiedades mecánicas de películas biodegradables: efecto de la concentración de quitosana y la concentración de sorbitol. *Alimentaria.* 25:29-31.
53. Domínguez, E., Cortés, V., Ávila, R., Olvera, L., Vernon, J., Bozquez, E., Domínguez, J. (2003). Aumento de la vida poscosecha del *limón mexicano (citrus aurantifolia swingle)* producido en Apatzingán, Mich., mediante el uso de recubrimientos naturales a diferentes temperaturas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha.* 5 (2):128-133.
54. Donhowe, I. y Fennema. O. (1993). The effects of plasticizers on crystallinity, permeability ad mechanical properties of methylcellulose films. *J. Food Proc. and Pres.* 17:247-257.

55. El Ghaouth, A., Arul, J., Asselin, A., Benhamou, N. (1992). Antifungal activity of chitosan on post-harvest pathogens: Induction of morphological and cytological alterations in *Rhizopus stolonifer*. *Mycol. Res.* (96):769-779.
56. El Ghaouth, A., Arul, J., Ponnampalam, R., Boulet, M. (1991). Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *Journal of Food Science*. **56**, (6):1618-1620.
57. Elson, C., Hayes, E., Lidster, P. (1985). *Development of the differentially permeable fruits coating "Nutri-Save" for the modified atmosphere storage of fruit*. In proceedings of the Fourth Nacional Controlled Atmosphere Research, Conf. (Ed.) S.M. Blankenship, 248 pp. Dept. Of Hort. Sci., North Carolina State Univ., Raleigh, N.C. Hort. Rpt. 126:248.
58. FAO. (1989). Manual para el mejoramiento postcosecha de frutas y hortalizas. Santiago (Chile). Departamento de agricultura. Consultado el 10 de enero de 2011. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/>
59. Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos*. Acribia. Zaragoza, España.
60. Flores, G. (2005). Obtención y uso del colágeno en la Industria Alimentaria. Tesis de ingeniería en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México.
61. Fresh California Avocados. (2007). Consultado en marzo de 2010. Disponible en: <http://www.avocado.org/espanol/>
62. Frinault, A., Gallant, D., Bouchet, J. (1997). Preparation of casein films by a modified wet spinning process. *Journal of Food Science*. **62** (4):744-747.
63. Galiotta, G. (2001). *Formación y caracterización de películas comestibles en base a suero de leche*. Tesis de maestría en química. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Montevideo, Uruguay.
64. Galiotta, G., Harte, F., Molinari, D., Capdevielle, R., Diano, W. (2004). Aumento de la vida útil poscosecha de tomate usando una película de proteína de suero de leche. *Revista Iberoamericana de tecnología poscosecha*. **6** (2):117-123.
65. Gallegos, G. y Osnaya, F. (1997). *Manejo de cosecha y poscosecha para la comercialización de frutas y hortalizas en fresco*. Tesis de ingeniería en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México.
66. García M., Martino, M., Zaritzky, N. (1998). Starch-based coatings: effect on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *J. Food. Agric.* 76:411-420.
67. García, N. (2006). Conchudas ganancias. Consultado el 25 de marzo de 2011. Disponible en: <http://www.soyentrepreneur.com>
68. Garnica, O. (2001). *Permeabilidad al vapor de agua y propiedades mecánicas de películas modificadas de quitosán*. Tesis de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México.

69. Gennadios, A. Y Weller, C. (1991). Edible films from soymilk and soy protein. *Cereal Foods World*. **36** (12):1004-1009.
70. Gennadios, A., Weller, C., Gooding, C. (1994). Measurement errors in water vapor permeability of highly permeable, hidrofílic edible films. *Journal Food Eng.* (21):395-409.
71. Gennadios, A., Weller, C., Hanna, M., Froning, G. (1996). Mechanical and barrier properties of egg albumen films. *Journal of food science*. **31** (3):585-589.
72. Gennadios, A., Weller, C., Testin, R. (1993a). Temperature effect on oxygen permeability of edible protein-based films. *J. Food Sci.* **58** (1):212-214, 219.
73. Gennadios, A., Weller, C., Testin, R. (1993b). Property modification of edible wheat, gluten-based films. *Transactions of the ASAE*. **36** (2):465-470.
74. Gibbons, B., Roach, P., Hurley, T. (2002). Crystal Structure of the autocatalytic initiator of glycogen synthesis, glycogenin. *J. Mol. Biol.* Consultado el 8 de enero de 2011. Disponible en: <http://www.deperu.com/imagenes>
75. Glicksman, M. (1983). *Red seaweed extracts*. In: M.Glicksman (Ed.). "Food Hydrocolloids," Vol. 2, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
76. Gómez, C. (2005). Películas comestibles multicomponentes: efecto de la composición en su comportamiento mecánico. Consultado en 20 de marzo de 2011. Disponible en: <http://www.food-info.net/es/qa/qa-wi6.htm>
77. González-Aguilar, G., Monroy-García, I., Goycoolea-Valencia, F., Díaz-Cinco, M., Ayala-Zavala, F. (2005). Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. Simposium "Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados". La Habana, Cuba. 1-20 pp.
78. Guarda, A. y Galotto, M. (2001). *Propiedades físicas de materiales plásticos*. Universidad de Santiago de Chile. Acribia. Zaragoza, España.
79. Guilbert, S. (1986). Technology and application of edible protective films. In: M. Mathlouthi (Ed.), 371-394 pp. *Food Packaging and Preservation*. Elsevier Applied Science Publishers. New York.
80. Guilbert, S. (1988). *Use of superficial edible layer to protect intermediate moisture foods: Application to the protection of tropical fruits dehydrated by osmosis*. In: C. C. Seow (Ed.). "Food Preservation by Moisture Control." 199-219 pp. Elsevier Applied Science Publishers Ltd. Essex. England.
81. Guilbert, S. y Biquet, B. (1996). *Edible films and coatings*. In: G Bureau, JL Multon (Eds.). *Food Packaging Technology*. New York: VCH Publishers, Inc.

82. Guilbert, S. y Biquet, B. (2005). *Embalaje de alimentos de gran consumo: películas y envolturas comestibles*. Acribia. Zaragoza, España.
83. Guzmán, G. (2003). Efecto del tipo de agente plastificante en película de quitosano. Universidad de las Américas, Puebla. Consultado en 24 de enero de 2011. Disponible en: [www.pue.udlap.mx](http://www.pue.udlap.mx)
84. Hagenmaier, R. y Shaw, P. (1990). Moisture permeability of edible films with fatty acid and (hydroxypropyl) methylcellulose. *J. Agric. Food Chem.* 38:1799-1803.
85. Hagenmaier, R. y Shaw, P. (1992). Gas permeability of fruit coating waxes. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 1, (117):105-109.
86. Hagenmaier, R. y Baker, R. (1993). Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coating. *J. Agric. Food Chem.* (41):283-287.
87. Hardenburg, R. (1967). *Waxes and related coatings for horticultural products*. A bibliography. Agricultural Research Service Bulletin 51-15, United States Department of Agriculture, Washington, DC.
88. Ho, B. (1992). *Water vapor permeabilities and structural characteristics of casein films and casein-lipid emulsion films*. M.S. Thesis University of California. Davis. 12-18 pp.
89. Hood, L. (1987). *Collagen in sausage casings*. In: A.M. Pearson, T.R. Dutson, and A.J. Bailey. (Eds.) "Advances in Meat Research," 109-129 pp. Van Nostrand Reinhold Co., N.Y.
90. Hyun, J., Park, M., Chinnan, S., Shewfelt, R. (1994). Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *Journal of food science.* 59 (3):568-570.
91. Infoagro (2007). El cultivo del mango. Consultado el 30 de enero de 2011. Disponible en: [www.infoagro.com.mx](http://www.infoagro.com.mx)
92. Jin, H. (2002). *Edible coatings for fruits*. Fruit and vegetable processing. Woodhead publishing limited. Cambridge, England. Edited by Wim Jongen. 331-345 pp.
93. Kamper, S. (1983). *Maintaining vapor pressure (Aw) gradients in food and model systems with edible films*. M.S. Thesis. Univ. Of Wisconsin, Madison, WI.
94. Kamper, S. y Fennema, O. (1984a). Water vapor permeability of an edible, fatty acid, bilayer films. *J. Food Sci.* 49:1482-1485.
95. Kamper, S. y Fennema, O. (1984b). Water vapor permeability of edible bilayer films. *J. Food Sci.* 49:1478-1485.
96. Kanig, J. y Goodman, H. (1962). Evaluative procedures for film-forming materials used in pharmaceutical applications. *J. Pharm. Sci.* 51 (1):77.
97. Kaplan, H. (1986). *Washing, waxing, and color-adding*. In: W.F. Wardowski, S. Nagry, and W. Grierson (Eds.), "Fresh Citrus Fruits" p. 379. AVI, Westport, CT.

98. Kaya S. y Kaya A. (2000). Microwave drying effects on properties of whey protein insoluble edible films. *Journal of Food Engineering*. 43:91-96.
99. Kester, J. y Fennema, O. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food Technol.* 12:47-59.
100. Kester, J. y Fennema, O. (1989). An edible film of lipids and cellulose ethers: Barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation. *J. Food Sci.* 5 (6):1383-1389.
101. Kinsella, J. y Whitehead, D. (1989). Proteins in whey: chemical, physical and functional properties. *Food and Nutrition*. 33:343-348.
102. Krochta, J. (1997). *Edible protein films and coatings*. University of California, Davis, California. pp. 535-538.
103. Krochta, J., Baldwin, E., Nisperos-Carriedo, M. (1994). *Edible coatings and films to improve food quality*. Ed. Technomic Publishing Co., Inc. 139-187 pp.
104. Krochta, J., Baldwin, E., Nisperos-Carriedo, M. (1997). Edible films solve problems. *Food Technology*. 51 (2):60-74.
105. Krochta, J.M. y De Mulder-Johnston, C. (1997). Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology*. 5:61-74.
106. Krochta, J., Hudson, J., Avena-Bustillos, R. (1990). *Casein-acetylated monoglyceride coatings for sliced apple products*. Presented at the Annual Meeting of the Institute of Food Technologists. June. Anaheim, C.A. 16-20 pp.
107. Kumins, C. (1965). Transport through polymer films. *J. Polymer Sci. Part C.* (10):1.
108. Labuza, T. y Contreras-Medellín, R. (1981). Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Foods World*. (26):335.
109. Lanciotti, R., Corbo, M., Gardini, F., Sinigaglia M., Guerzoni, M. (1999). Effects of hexanal, on the shelf life of fresh apples slices. *J. Agric. Food Chem.* (47):4769-4776.
110. Lanciotti, R., Gianotti, A., Patrignani, F., Belletti, N., Guerzoni, M., Gardini, F. (2003). Use of natural aroma compounds to improve shelf-life and safety of minimally processed fruits. *Trends Food Sci. Technol.* 15:201-208.
111. Landman, W., Lovegren, N., Feuge, R. (1960). Permeability of some fat products to moisture. *J. Am. Oil Chem. Soc.* (37):1-4.
112. Landrock, A. y Proctor, B. (1952). The simultaneous measurement of oxygen and carbon dioxide permeability of packaging materials. *Tappi*. 35:241.
113. Lee, J., Park, H., Lee, C., Choi, W. (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lebensm. Wiss. U. Technol.* 36:323-329.

114. LeTien, C., Vachon, C., Mateescu, M., Lacroix, M. (2001). Milk protein coating prevent oxidative browning of apples and potatoes. *J. Food Sci.* 66:512-516.
115. Li, H. y Yu, T. (2000). Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit. *J. Sci. Food Agric.* 81: 269-274.
116. López, A. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo al mercado del campo al mercado. Consultado el 6 de julio de 2011. Disponible en: <http://images.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.fao.org>
117. Lovengren, N. y Feuge, R. (1954). Permeability of acetostearin products to water vapor. *J. Agric. Food Chem.* 2:558-563.
118. Lowings, P. y Cutts, D. (1982). *The preservation of fresh fruits and vegetables*. Proc. Inst. *Foods Sci. Tech. Ann. Symp.*, July, 1981, Nottingham, United Kingdom. 52 p.
119. Mannheim, C. y Soffer, T. (1996). Permeability of different wax coatings and their effect on citrus fruit quality. *J. Agric. Food Chem.* 44 (3):919-923.
120. Martín-Polo, M. (1997). Transferencia de vapor de agua en alimentos con capas protectoras comestibles o bioempaques. Programa universitario de alimentos-UNAM, México.
121. Martín-Polo, M., Mauguin, C., Voilley, A. (1992). Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. 1. Influence of the film preparation technique. *J. Agric. Food Chem.* (40):407-412.
122. Martínez-Jávega, J., Cuquerella, J., Salvador, A., Monteverde, A., Navarro, P. (2006). Tratamientos postcosecha en mandarinas y naranjas. Consultado en 08 de agosto de 2011. Disponible en: <http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf>
123. Mathlouthi, M. (1994). *Food packaging and preservation*. Blackie academic & professional. New York.
124. McHugh, T., Aujard, J., Krochta J. (1994). Plasticized whey protein edible films: Water vapor permeability properties. *J. Food Sci.* 59:416-423.
125. McHugh, T., Huxsoll, C., Krochta, J. (1996). Permeability properties of fruit puree edible films. *Journal of Food Science.* 61 (1):87-91.
126. McHugh T. y Krochta J. (1993). *Permeability properties of edible films*. Departaments of Food Science and Technology, and Biological and Agricultural Engineering, University of California, Davis, CA. 139-187 pp.
127. McHugh, T. y Krochta, J. (1994a). Sorbitol vs. Glycerol-plasticized whey protein edible films: Integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *J. Agric. Food Chem.* 42:841-845.

128. McHugh y Krochta, J. (1994b). Milk-protein-based edible films and coatings. *Food Technology*. 1:97-103.
129. McHugh, T. y Senesi E. (2000). Apple wraps: a novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *Journal of Food Science*. **65** (3):480-485.
130. Mei, Y., Zhao, Y., Yang, J., Furr, H. (2002). Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. *J. Food Sci.* 67:1964-1968.
131. Meheriuk, M. y Lau, O. (1988). Effect of two polymeric coatings on fruit quality of `Barlett´ and `d´ Anjou´ pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:222-226.
132. Mendoza-Wilson, A., Bringas-Taddei, E., González-Aguilar, G., Ojeda-Contreras, J., Saucedo-Veloz, C. Báez-Saduño, R. (2001). Aplicación de mezclas cerosas en melón cantaloupe y sus efectos en la fisiología del fruto. *Iberoamericana Tecnol. Postcosecha*. **4** (1):83-89.
133. Merino, J. (2000). Compañía importadora Aliment-ar S.A. de C.V. Consultado el 20 de marzo de 2011. Disponible en: <http://images.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.monografias.com>
134. Miers, A., Meyer, J., Royers, C., Stannett, V., Szwarc, M. (1961). *Studies in the gas and vapor permeability of plastic films and coated papers*. Part. IV. *The permeation of water vapor*. TAPPI. (48):58 pp.
135. Miranda, P., Cárdenas, G., López, D., Lara, A. (2003). Comportamiento de películas de quitosán compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate. *Revista de la Sociedad Química de México*. **47** (47):331-336.
136. Monahan, F., McClements D., Kinsella, J. (1993). Polymerization of whey protein in whey protein-stabilized emulsion. *J. Agric. Food Chem.* 41:1826-1831.
137. Murray, D. y Luft, L. (1973). Low-D.E. Corn starch hydrolisates. *Food Technol.* (27):32-40.
138. Muzzarelli, R. (1986). *Decchelating ability of aminoacids glucans and sugar acids chitosans*. In: Muzzarelli RAA, C Jeuniaux, GW Gooday (Eds.) *Chitin in Nature and Technology*. 321-323 pp. New York.
139. Navarro, M. (2007). Efecto de la composición de recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abeja en la calidad de ciruelas, naranjas y mandarinas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
140. Nielsen, L. (1974). *Mechanical properties of polymers d composites*. Volumen 1. Marcel Dekker. New York.
141. Nishiyama, M. (1991). Biodegradable plastics from cellulose-chitosan. *Journal of Elastomers and Plastics*. 26: 13-17.

142. Nisperos-Carriedo, M. (1994). *Edible coatings and films based on polysaccharides*. In: JM Krochta, EA Baldwin, M Nisperos-Carriedo (Eds.) *Edible coatings and films to improve food quality*. 305-355 pp. Lancaster: Technomic Publishing Co. New York.
143. Nisperos-Carriedo, M. y Baldwin, E. (1988). Effect of two types of edible films on tomato fruit ripening. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 101:217-220.
144. Nisperos-Carriedo, M., Shaw, E., Baldwin, E. (1990). Changes in volatile flavor components of pineapple orange juice as influenced by application of lipid and composite films. *J. Agric. Food Chem.* 38:1382-1387.
145. Ockerman, H. y Hansen, C. (2000). *Animal by-products processing and utilization*. Editorial Press. London.
146. Okhamafe, A. y York, P. (1984). Effects of solids-polymer interactions on the properties of some aqueous-based tablet film coating formulations. I. Moisture permeability. *Inter. J. Pharm.* 2:265.
147. Olivas, G., Rodríguez, J., Barbosa-Cánovas, G. (2005). Edible coatings composed of methylcellulose, stearic acid, and additives to preserve quality of pear wedges. *J. Food Process. Preserv.* 27:299-320.
148. Oxiteno (2010). Consultado el 25 de enero de 2011. Disponible en: <http://www.oxiteno.com>
149. Paine, F. y Paine, H. (1994). *Manual del envasado de alimentos*. Vicente. Madrid.
150. Park, H. (1999). Development of advanced edible coatings for fruits. *Food Science Technology*. 10:254-260.
151. Park, H. y Chinnan, M. (1990). *Properties of edible coatings for fruits and vegetables*. SAE Paper No. 906510. St. Joseph, MI. 5 p.
152. Park, H. y Chinnan, M. (1995). Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. *J. Food Eng.* 25:497-507.
153. Park H., Chinnan M., Shewfelt, R. (1994). Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *Journal of Food Science*. **59** (3):568-570.
154. Park, H., Weller, C., Vergano, P., Testin, R. (1993). Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films. *J. Food Sci.* **58** (6):1361-1364.
155. Pascat, B. (1986). *Study of some factors affecting permeability*. In: *Food packaging and preservation. Theory and Practice*. Elsevier Applied Science Pub. London.
156. Pérez, B. y Báez, R. (2003). Utilización de ceras comestibles en la conservación de frutas. *Alimentaria*. Julio-agosto.
157. Pérez, B., Mendoza, A., Bringas, E., Cruz, L., Báez, R., (2005). Evaluación de cera comestible en mango "Tomy Atkins" destinado a la comercialización para el turismo. Parte I:

- Efecto en las características físico-químicas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*. **7** (1):24-32.
158. Pérez-Gago, M. (2000). Recubrimientos para cítricos en poscosecha. Universidad de Colombia, Sede Medellín. Consultado el 26 de febrero de 2011. Disponible en: [www.psic.ws](http://www.psic.ws)
159. Pérez-Gago, M., Serra, M., Alonso, M., Mateos, M., Del Río, M. (2003). Effect of solid content and lipid content of whey protein isolate-beeswax edible coatings on color change of fresh-cut apples. *J. Food Sci.* **68**:2186-2191.
160. Quezada-Gallo, J., Debeaufort, F., Voilley, A. (1999). Mechanism of aroma transfer through and plastic packagings. *J. Food Chem.* **1**:125-140.
161. Quintavalla, S. (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat Science*. **62**, 373-380.
162. Ramos, K. y Pérez, C. (2008). Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*fragaria vesca L.*) almacenada en refrigeración. Tesis de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México.
163. Raybaudi-Massilia, R., Soliva, R., Martín, O. (2006). *Uso de agentes antimicrobianos para la conservación de frutas frescas y frescas cortadas*. I Simposio Ibero-americano de vegetales frescos cortados, San Pedro, SP Brasil. 15-21 pp.
164. Reillo, A., Navarro, F., Bustamante, P. (2000). *Estudio del hinchamiento de la hidroxipropilmetilcelulosa en función de la polaridad del disolvente*. Facultad de farmacia, Universidad de Alcalá. España. 169-172.
165. Risse, R., Chun, D., McDonald, R., Miller, W. (1987). Volatile production and decay during storage of cucumber waxed, imazalil-treated, and film wrapped. *HortScience*. **22**, (2):274.
166. Rodríguez, M., Ramos, V., Del Blanco, L., Agullo, E. (2000). Preservación de tomates con aplicaciones de quitosano. *Información tecnológica (Chile)*. **11**, (2):25.
167. Rojas de Gante, C. (2001). Envases biopoliméricos activos: envases inteligentes. *Transferencia*. Consultado el 10 de enero de 2011. Disponible en: [www.mty.itessm.mx](http://www.mty.itessm.mx).
168. Rojas, A., Tapia, M., Martín, O. (2007). Empleo de recubrimientos comestibles en frutas frescas cortadas: nuevo enfoque de conservación y desarrollo de productos. *Alimentaria*. **382**:105-118.
169. Rojas-Graü, M., Tapia, M., Rodríguez, F., Carmona, A., Martín-Belloso, O. (2006). Alginate and gellan based edible coatings as support of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apple. *Journal of Food Science*. **72** (4):190-196.
170. Roller, S. y Seedhar, P. (2002). Carvacrol and cinnamic acid inhibit microbial growth in fresh-cut melon and kiwifruit at 4° and 8°C. *Letters Appl. Microbiol.* **90**:494-507.

171. Romanazzi, G., Nigro, F., Hipólito, A., Venere, D., Salerno, M. (2003). Effects of pre and postharvest treatments to control storage grey mold of table grapes. *J Food Sci.* 67:1862-1867.
172. Roth, Y. (1977). *Fruit of Angiosperms*. 1<sup>st</sup> ed. Gebruder Borntraeger, Berlín. 474 p.
173. SAGARPA (2009). Consultado el 10 de enero de 2011. Disponible en: [www.siap.sagarpa.gob.mx](http://www.siap.sagarpa.gob.mx)
174. Saltveit, M. (1999). Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15:279-292.
175. Salvador, L., Miranda, S., Aragón, N., Lara, V. (1999). Recubrimiento de quitosán en aguacate. *Revista de la sociedad de química de México.* 43 (1):18-23.
176. Sapers, G., Miller, R., Annous, B., Burke, A. (2002). Improved antimicrobial wash treatments for decontamination of apples. *J. Food. Sci.* 6 (5):1886-1891.
177. Schultz, T., Miers, J., Owens, H., Maclay, W. (1949). Permeability of pectinate films to water vapor. *J. Phys. Colloid Chem.* 53 (9):1320-1330.
178. Segundo, E. (2005). Consultado el 08 de enero de 2011. Disponible en: <http://www.biol.unlp.edu.ar/bromatología>
179. Sherwin, C. (1998). *The water vapor barrier properties of whey protein fatty acid emulsion edible films*. Thesis, University of Minnesota. USA.
180. SIAP (2010). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado el 22 de abril de 2011. Disponible en: [www.siap.sagarpa.gob.mx](http://www.siap.sagarpa.gob.mx)
181. Smith, S. y Stow, J. (1984). The potencial of a sucrose ester coating material for improving the storage and shelf-life qualities of Cox's orange pippin apples. *Ann. Appl. Biol.* 104:383-390.
182. Smith, S., Geeson, J., Stow, J. (1987). Production of modified atmospheres in deciduous fruits by the use of films and coatings. *Hort. Sci.* 33:284-289.
183. Smock, R. (1940). Some additional effects of waxing apples. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 37:448-454.
184. Solvia, C. y Martín-Belloso, O. (2001). Envasado de alimentos mediante recubrimientos comestibles. *Industria Alimentaria.* 325:29-37.
185. Sonti, S., Prinyawiwatkul, W., McWatters, K. (2003). *A survey on consumer attitude and perception of fresh-cut fruits and vegetables with or without edible coating*. IFT Annual Meeting Technical Program Abstracts, 76C-16.
186. Tapia, M., Rodríguez, F., Rojas-Graü, M., Martín-Belloso, O. (2005). *Formulation of alginate and gellan based edible coatings with antioxidants for fresh-cut apple and papaya*. IFT Technical Program Abstracts, Paper 36E-43 - Annual Meeting, New Orleans, USA.

187. Téliz, D. (2000). *El aguacate y su manejo integrado*. Mundi- Prensa. México.
188. Torres, J.A. (1994). *Protein functionality in food systems: edible films and coatings proteins*. Oregon State University Corvallis, Oregon Marcel Dekker, Inc. 467-507 pp.
189. Trejo, V., Aragón, N., Miranda, P. (2001) Estimación de la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de quitosán. *Journal of the Mexican Chemical Society*. **45** 1:1-5.
190. Trezza, T. y Krochta, J. (2000). The gloss of edible coating as affected by surfactants, lipids relative humidity, and time. *Journal of Food Science*. **65** (4):658-662.
191. Troncoso-Rojas, R., Sánchez-Estrada, A., Bringas-Tradei, E., Ojeda-Conteras, J., Báez-Sañudo, R. (1999). Comportamiento postcosecha de melón cantaloupe tratado con cera, película plástica y almacenamiento refrigerado. *Rev. Iberoamericana Technol. Postcosecha*. **1** (2):186-192.
192. Ukai, N., Shingo, Y., Tosió, I., Kyoichi, K. (1976). *Preservation of agricultural products*. U.S. patent 3, 997, 674 pp.
193. Ukuku, D. (2004). Effect of hydrogen peroxide treatment on microbial quality and appearance of whole and fresh-cut melons contaminated with *Salmonella* spp. *Int. J. Food Microbiol.* 95:137-146.
194. Ukuku, D., Bari, M., Kawamoto, S., Isshiki, K. (2005). Use of hydrogen peroxide in combination with nisin, sodium lactate and citric acid for reducing transfer of bacterial pathogens from whole melon surfaces to fresh-cut pieces. *Int. J. Food Microbiol.* 104:225-233.
195. Uquiche, E., Villarroel, M., Cisneros, L. (2002). Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad sensorial de pimentones verdes (*Capsicum annuum* L.) durante el almacenamiento. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*. **52** (1):84-90.
196. Vachon, C., Aprano, G., Locroix, M., Letendre, M. (2003). Effect of edible coating process and irradiation treatment of strawberry *fragaria* spp. on storage-keeping quality. *J. Food Sci.* 68: 608-612.
197. Valle, S., López, O., Reyes, M., Castillo, M., Santos, A. (2008). Recubrimiento comestible basado en goma arábica y carboximetilcelulosa para conservar frutas en atmósferas modificadas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. **14** (3):235-241.
198. Vernon-Carter, E., Beristain, C. y Pedroza-Islas, R. (2000). *Mesquite gum (Prosopis gum)*. En: G. Doxastakis, y V. Kiosseoglou (Eds.), *Novel Macromolecules in Food Systems*. Elsevier Science B.V. Amsterdam, Holanda. 217-235 pp.
199. Watters, G. y Brekke, J. (1961). Stabilized raisins for dry cereal products. *Food Technol.* 5:236-238.

200. Weiss, J. (2003). Antimicrobial food packaging. Current state and future potential. Universidad de Tennessee, USA. Consultado el 22 de abril de 2011. Disponible en: <http://foodscience.utk.edu>
201. Whitaker, J. y Lee, C. (1995). *Recent advances in chemistry of enzymatic browning*. In: Whitaker, J.R. (Eds.). *Enzymatic browning and its prevention*. Washington, DC. USA; ACS Symposium Series 600, 2-7 pp.
202. Wiles, J., Vergano, P., Barron, F., Bunn J., Testin, R. (2000). Water vapor transmission rates and sorption behavior of chitosan films. *Journal of Food Science*. **65** (7):1175-1179.
203. Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., Joyce, D. (1999). *Introducción a la fisiología y manipulación postcosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. 2ª edición. Acribia. Zaragoza, España.
204. Wong, D., Gastineau, F., Gregorski, K., Tillin, S., Pavlath. (1992). Chitosan-lipid films: Microstructure and surface energy. *J. Agric. Food Chem.* 40:540-544.
205. Wong, D., Tillin, S., Hudson, J., Pavlah, A. (1994). Gas exchange in cut apples with bilayer coatings. *J. Agric. Food. Chem.* 42: 2278-2285.
206. Xu, Y., Kim, K., Hanna, M. (2005). *Chitosan-starch composite film: preparation and caracterizacion*. *Industrial Crops products*. 21:185-192.
207. Yueming, J. y Yuebiao, L. (2001). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. *Food Chemistry*. 73:139-143.
208. Zamora, A. (2008). Consultado el 10 de marzo de 2011. Disponible en: <http://www.scientificpsychic.com>
209. Zhai, M., Zhao, L., Yoshii, F., Kume, T. (2004). Study on antibacterial starch/chitosan blend film formed under the action of irradiation. *Carbohydrate Polymers*. 57:83-88.
210. Zhang, D. y Quantick, P. (1997). Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 12:195-202.