



**“ESTUDIO DEL EFECTO DE PELÍCULAS COMESTIBLES DE GELANA
Y PROTEÍNA DE SUERO DE LECHE EN FRUTOS”**

INFORME TÉCNICO DE LA OPCIÓN CURRICULAR EN LA MODALIDAD DE:

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTAN:

ANA LAURA HERRERA MORALES

MERCEDES GUIVINI MELÉNDEZ CANCHOLA

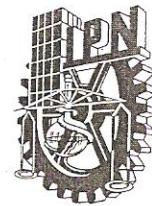
ASESOR INTERNO: Dr. Jorge Yáñez Fernández

ASESOR EXTERNO: M. en C. Miguel Ángel Aguilar Méndez

México, D.F., Mayo del 2009.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA



México., D. F., a 31 de octubre de 2008.

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
Of. No. SA-UPIBI-383/09

HERRERA MORALES ANA LAURA
7º SEMESTRE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA EN ALIMENTOS
Presente.

Comunico a usted, que como resultado de la evaluación del Comité de Proyecto Terminal, con esta fecha queda registrado su proyecto terminal en la modalidad de **“PROYECTO DE INVESTIGACIÓN”** denominado **“ESTUDIO DEL EFECTO DE PELICULAS COMESTIBLES DE GELANA Y PROTEÍNA DE SUERO DE LECHE EN FRUTOS”** bajo la dirección externa del M. en C. Miguel Ángel Aguilar Méndez y la dirección interna del Dr. Jorge Yañez Fernández.

De cumplir con las condiciones que abajo se indican, será acreditada la opción curricular de titulación. Asimismo me permito recordarle que el trabajo experimental deberá concluir en el octavo semestre y entregar el informe técnico final, de conformidad con los lineamientos que para tal fin establezca el Comité mencionado.

CONDICIONES

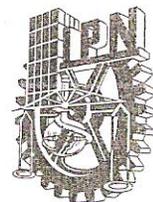
1. Permanecer en la misma opción y actividad en el Proyecto Terminal I, II, III.
2. Obtener una calificación igual o superior a 8.0 en Proyecto Terminal I, Proyecto Terminal II y Proyecto Terminal III.
3. Cumplir con el 90% de asistencia a las actividades asignadas.
4. Cumplir con los demás requisitos que se fijan en el programa de estudios de la asignatura.

ATENTAMENTE.
“LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA”



ING. YESICA MA. DOMÍNGUEZ GALICIA.
SUBDIRECTORA ACADÉMICA.
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA
DIRECCIÓN ACADÉMICA

c.c.p. Departamento de Control Escolar.



México., D. F., a 31 de octubre de 2008.
Of. No. SA-UPIBI-1109/08

MELENDEZ CANCHOLA MERCEDEZ GUIVINI
7° SEMESTRE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Presente.

Comunico a usted, que como resultado de la evaluación del Comité de Proyecto Terminal, con esta fecha queda registrado su proyecto terminal en la modalidad de **“PROYECTO DE INVESTIGACION”** denominada **“ESTUDIO DEL EFECTO DE PELÍCULAS COMESTIBLES DE GELANA Y PROTEINA DE SUERO DE LECHE EN FRUTOS”** bajo la dirección externa del M. en C. Miguel Ángel Aguilar Méndez y la dirección interna del Dr. Jorge Yañez Fernández.

De cumplir con las condiciones que abajo se indican, será acreditada la opción curricular de titulación. Asimismo me permito recordarle que el trabajo experimental deberá concluir en el octavo semestre y entregar el informe técnico final, de conformidad con los lineamientos que para tal fin establezca el Comité mencionado.

CONDICIONES

1. Permanecer en la misma opción y actividad en el Proyecto Terminal I, II, III.
2. Obtener una calificación igual o superior a 8.0 en Proyecto Terminal I, Proyecto Terminal II y Proyecto Terminal III.
3. Cumplir con el 90% de asistencia a las actividades asignadas.
4. Cumplir con los demás requisitos que se fijan en el programa de estudios de la asignatura.

ATENTAMENTE
“LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA”



ING. YESICA MA. DOMÍNGUEZ GALICIA
SUBDIRECTORA ACADÉMICA.



INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL
INTERDISCIPLINARIA DE
BIOTECNOLOGÍA
DIRECCIÓN ACADÉMICA

Agradecimientos:

A mis padres Mariano y Araceli y hermanos, que con todo su amor me brindaron su apoyo para la culminación de este proyecto de vida.

MERCEDES

A Israel: Porque eres de esa clase de personas que todo lo comprenden y dan lo mejor de si mismos sin esperar nada a cambio... porque sabes escuchar y brindar ayuda cuando es necesario... porque te has ganado mi cariño, admiración y respeto.

A mis padres: Porque me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: la vida. A quienes sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho. A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por esto y más... Gracias.

A mis hijas Mary y Any: Con amor por haber significado la inspiración que necesitaba para terminar mi carrera profesional, esperando ser un ejemplo de superación para ellas.

Quiero expresar un profundo agradecimiento a todos quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad.

ANA LAURA

Contenido general	Página
Resumen	
Índice	
Índice de tablas	
Índice de figuras	
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1 Materias primas de las películas comestibles y/o biodegradables.	5
2.2 Generalidades de la pera	15
2.3 Fisiología pos cosecha	16
3. Justificación	19
4. Hipótesis	20
5. Objetivos	21
5.1 Objetivo general	21
5.2 Objetivos específicos	21
6. Metodología	22
6.1 Metodología general	22
6.2 Materiales	22
6.3 Descripción de los métodos	23
6.3.1 Elaboración de películas	23
6.3.2 Acondicionamiento y recubrimiento del fruto	24
6.3.3 Pruebas fisicoquímicas	25
6.3.4 Permeabilidad a CO ₂	26
6.3.5 Pruebas mecánicas	27
7. Resultados y análisis de resultados	28
7.1 Pérdida de peso	28
7.2 Acidez titulable	30
7.3 Determinación de pH	31
7.4 Sólidos solubles	32
7.5 Determinación de Aw	33
7.6 Determinación de permeabilidad a CO ₂	34
7.7 Determinación de firmeza de pulpa	36
8. Conclusiones	38
9. Recomendaciones para un trabajo futuro	39
10. Bibliografía	40
11. Anexos	48

Índice de tablas	Página
Tabla1. Formulaciones de los recubrimientos.	23
Tabla 2. Diseño de experimentos.	48
Tabla 3. Coeficientes de difusión a vapor de agua.	49

Índice de figuras	Página
Figura 1. Velocidad de respiración de diferentes frutos a 15 ⁰ C.	18
Figura 2. Esquema general de la preparación del recubrimiento y la secuencia experimental.	22
Figura 3. Comportamiento de la pérdida de peso para cada recubrimiento	29
Figura 4. Comportamiento de la acidez titulable para cada recubrimiento.	30
Figura 5. Comportamiento del pH para cada recubrimiento.	31
Figura 6. Comportamiento sólidos totales para cada recubrimiento.	32
Figura 7. Comportamiento de actividad acuosa para cada recubrimiento.	33
Figura 8. Comportamiento de la permeabilidad para cada recubrimiento.	35
Figura9. Comportamiento de firmeza de la pulpa para cada recubrimiento.	37

Resumen

En el presente trabajo se evaluaron diferentes formulaciones de recubrimientos de gelatina y proteína de suero de leche como recubrimiento de frutos. Para realizar la evaluación se escogió un fruto modelo el cual se decidió que debía ser climatérico y presentar una tasa de respiración media, el fruto que se eligió fue la pera. Los frutos fueron recubiertos por inmersión y sometidos a diferentes pruebas: a) pruebas fisicoquímicas, b) permeabilidad a CO₂ y c) pruebas mecánicas. Para efectos de pérdida de peso se observa que las peras cubiertas con la formulación CUB6 son las que muestra un mejor resultado siendo su pérdida de peso de 2% con respecto al control que fue de 4%. Con respecto al porcentaje de acidez las formulaciones CUB 6 y CUB7 son las que presentan un menor porcentaje de acidez al final del análisis. Para el pH se presume una disminución o retardo en la madurez del fruto en la pera cubierta con la formulación CUB 7. Durante la maduración de los frutos podemos observar que el contenido de sólidos solubles va en aumento en todas las coberturas (CUB6, CUB7 y CUB13) con un comportamiento muy similar al del fruto control hasta llegar a un máximo. La actividad acuosa no presenta diferencia alguna entre los distintos recubrimientos y el control. Al respecto los frutos control presentaron su punto de climaterio entre los 9 y 11 días de almacenamiento, con una producción máxima de CO₂ de 18 mL CO₂/Kg*h. Durante los diecinueve días de almacenamiento las peras frutos cubiertas con las diferentes coberturas no mostraron cambios en la tasa de respiración, lo anterior indica que la velocidad de respiración fue atenuada. En la determinación de firmeza se observa que la pérdida de la firmeza disminuye a medida que se prolonga el almacenamiento, durante el tiempo de almacenamiento las peras control presentaron al final una firmeza de 0.00008 N mientras que las peras con la cubierta CUB6 fueron las que mostraron una menor pérdida de firmeza con un valor de 0.00018.

1. Introducción

La conservación de alimentos puede definirse como todo proceso o método que permita prolongar su vida de anaquel, de forma que mantenga en grado aceptable su calidad, incluyendo color, textura y aroma. Esta definición comprende métodos muy variados que proporcionan un amplio margen de tiempo de conservación que incluye desde los de corta duración, cuando se trata de métodos domésticos de cocción y refrigeración, hasta el enlatado, congelación y deshidratación, que permite ampliar la vida del producto. (Holdsworth, 1988)

Una película comestible se define como una o varias capas delgadas de un material que puede ser consumido por los seres vivos y que al mismo tiempo pueden actuar como barrera a la transferencia de agua, gases y solutos de alimentos. (Guilbert, 1986)

El desarrollo y la caracterización de películas comestibles han atraído cada vez más la atención de investigadores, debido principalmente a la gran variedad de usos. En particular, la capacidad para regular la humedad, migración de lípidos, el transporte de gases, pueden ser usadas para mejorar la calidad de los alimentos y ampliar su duración. Además las películas comestibles juegan un papel importante cuando se habla de componentes termolábiles como vitaminas, aroma, y sabores, El empleo de películas comestibles puede ser una técnica viable y eficiente de conservar las características de los alimentos en el área alimenticia. (Tomás, Orea, Stolik, Islas, Zavala and Corona, 2004).

Las películas comestibles basadas en polisacáridos han sido usadas principalmente para cubiertas de frutas debido a su permeabilidad y excelente selectividad a O₂ y CO₂. (Gennadios, MCHugh, Séller and Krochta, 1994).

En el mundo son numerosos los esfuerzos que se realizan para obtener películas, llamadas también films, que posean la característica de ser biodegradables, con el propósito de disminuir el uso de plásticos sintéticos y por lo tanto reducir su impacto negativo en el medio ambiente. En el caso particular de los alimentos, el potencial de las películas biodegradables es mayor si los materiales empleados no son tóxicos, son biocompatibles y además puedan ser ingeridos por el ser humano sin representar un riesgo para la salud. Los materiales empleados para elaborar este tipo de materiales son lípidos, proteínas, polisacáridos o combinaciones de estos (Alvarado, 2005)

Es importante estudiar las propiedades fisicoquímicas de las películas, tales como sus propiedades de barrera a gases y mecánicas, ya que de éstas depende la aplicabilidad y eficiencia que las películas puedan tener en cualquier producto alimenticio. Siempre con la finalidad de preservar las propiedades organolépticas del producto y por ende extender su vida de anaquel. Entre otras razones para buscar extender la vida útil, mejorar la calidad o también para mejorar la integridad mecánica y las características de manipuleo durante el transporte. Las películas comestibles son de importancia en aplicaciones relacionadas con alimentos por su habilidad para ser una barrera para la transferencia de masa, proteger a los ingredientes. (Pérez, Nadaud, Krochta, 1999)

2. Antecedentes

Las películas y recubrimientos comestibles, se han estudiado, desde hace mucho tiempo, empíricamente para la protección de los alimentos y la prolongación del periodo de anaquel. (Guilbert y Gontard, 1995).

El desarrollo y caracterización de películas y recubrimientos comestibles ha atraído la atención de muchos investigadores debido a la gran variedad de aplicaciones que ofrecen en general a la industria alimentaria, y en particular a la conservación de frutas y hortalizas frescas por su selectiva funcionalidad para regular la pérdida de vapor de agua, la migración de lípidos y el transporte gaseoso (CO_2 , O_2) lo que permite mejorar la calidad y extender la vida útil de estos productos. (Bosquez Molina , 2004).

Actualmente las películas comestibles se elaboran a partir de una gran variedad de polisacáridos, proteínas, ceras naturales y resinas, 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 de una forma similar a la de una atmósfera controlada que es un proceso mucho más costoso.(Albert y Mittal, 2002; García, Pinotti, Martino, y Zaritzky, 2004)

Películas poliméricas biodegradables son aquellas que se elaboran con sustancias de origen natural, de composición heterogénea, de tal manera que en un proceso de compostaje se transforman en compuestos de menor complejidad, es decir, sufren despolimerización.

(Avérous, Boquillon, 2004)

La despolimerización incluye tres elementos claves:

- Microorganismos apropiados.
- Medio ambiente favorable.

- Un sustrato de polímero vulnerable, un ambiente cálido y húmedo, con rango aceptable de pH, nutrientes y oxígeno, para la aplicación de microorganismos, lo cual conduce a un proceso eficiente de biodegradación.

(Avérous, Boquillon, 2004).

Mas adelante continúan su proceso de degradación hasta llegar a sus componentes más elementales, esto es, sufren mineralización. (Conversión a $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{sales minerales}$).

(Avérous, Boquillon, 2004).

El propósito de estos empaques poliméricos es inhibir la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aroma, lípidos y además servir como transporte de antioxidantes, antimicrobianos y sabores e impartir integridad mecánica y facilitar la manipulación de los alimentos. En ocasiones las películas comestibles que tienen buenas propiedades mecánicas pueden reemplazar las películas sintéticas. (Evans, J.D., and Sikdar, S.K. 1990)

2.1 Materias primas de las películas comestibles y/o biodegradables.

Polisacáridos, proteínas y lípidos se han utilizado como materiales para la elaboración de películas comestibles. La mayor parte de la investigación se ha centrado en películas sobre la base de sólo uno de los componentes. Con el fin de mejorar las propiedades tecnológicas de las películas comestibles de un solo componente, es posible cambiar su estructura molecular mediante reacciones químicas o físicamente, empleando tratamientos como calor, ultrasonidos o radiación. (Gennadios, 2002).

Otra alternativa para mejorar las propiedades de este tipo de materiales es combinar dos o más componentes de manera que aporten sus cualidades y permitan obtener una película o recubrimiento con mejores características. (D. Beaufort et al., 1998).

Polisacáridos

Los polisacáridos son conocidos por su estructura compleja y diversidad funcional. La estructura lineal de algunos de estos polisacáridos le proporcionan a algunas películas dureza, flexibilidad y transparencia; las películas son resistentes a las grasas y aceites. El entrelazamiento, por ejemplo, del quitósan con aldehídos hace la película más dura, insoluble en agua y le proporciona una alta resistencia. (Benavides, 2002; Srinivasa *et al.*, 2004).

Almidón.

El almidón es otra materia prima en abundancia, específicamente el que proviene del maíz, tiene propiedades termoplásticas cuando se realiza la disrupción estructural a nivel molecular. La presencia de amilosa en un 70% en almidones da una estructura fuerte y más flexible a la película. La estructura ramificada de la amilopectina generalmente le da a la película pobres propiedades mecánicas. Las tecnologías que aún se siguen desarrollando, están relacionadas con la incorporación del gránulo de almidón o almidón en forma

gelatinizada a las formulaciones de las películas fabricadas en procesos de compresión, extrusión soplado, extrusión de un sólo tornillo o doble tornillo y moldeo por inyección (Blacido *et al.*, 2005; Parra *et al.*, 2004). El problema que han presentado las películas fabricadas con almidón es la sensibilidad a la humedad, la cual se ha reducido utilizando en las formulaciones polivinilalcohol (PVA), glicerina, sorbitol, bases nitrogenadas, etc. (Shamekin *et al.*, 2002; Smits *et al.*, 2003; Finkenstadt y Willett, 2004; Acosta *et al.*, 2006). Los productos derivados del almidón tales como dextrinas o glucosa son extensamente usados como materias primas de medios fermentativos. La glucosa puede ser fermentada y convertida a ácido láctico, el cual puede ser polimerizado a un polímero de alto peso molecular como es el ácido poliláctico (PLA) e igualmente copolimerizado. Su uso como plástico biodegradable es de considerable interés y demanda (Kulinski y Piorkowska, 2005).

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 su apariencia. La influencia de la humedad sobre la estabilidad de las películas de almidón ha limitado su utilidad, puesto que son barreras pobres para la humedad, además, las propiedades mecánicas son generalmente inferiores a las de películas elaboradas con polímeros sintéticos. (Hoyos, Urrego. 1997.)

Carragenanos

El carragenina es un polisacárido aniónico con grupos sulfato y produce dispersiones acuosas con potenciales de hidrógeno alrededor 7. (Chaparro, 2003). Se extraen industrialmente de diversas especies de algas rojas *Rhodofíceas*. (Hoyos, Urrego. 1997.)

Cuando es mezclada con proteínas, expresamente con proteína de suero de leche, con un pH más alto que el punto isoelectrico de la proteína, puede formar complejos solubles. (Tolstoguzov, Hill, Ledward, Mitchell, 1998)

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 hidrocóloides. Las coberturas actúan retardando 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 antimicrobianos. Evitan la oxidación de los alimentos ya que son buenas barreras para el oxígeno. En unión con pectinas de bajo metóxilo, goma xantana, goma arábica, pueden satisfacer los últimos requerimientos de las películas. (Hoyos, Urrego. 1997.)

Pectina

La pectina, es un complejo aniónico polisacárido compuesto de β -1,4-D- ácido galacturónico residual. La mezcla de plastificante de pectina cítrica y almidón de alta amilosa dan estabilidad y flexibilidad a la película, la cual es térmicamente estable sobre 180 °C. La pectina es también miscible en polivinilalcohol o en glicerina en todas las proporciones, puede usarse en la elaboración de películas por proceso de extrusión, compresión y/o otras operaciones térmicas (Marshall y Coffin, 1998); es soluble en agua e igualmente es usada en la fabricación de bolsas y en diversos sistemas médicos. Las películas que resultan de las mezclas de pectina y quitósan junto con cualquier plastificante, generan buenas propiedades mecánicas y de barrera según el porcentaje de los componentes y la relación con el material alimenticio en estudio (Fishman *et al.*, 2004).

La pectina es obtenida del extracto diluido en ácido, de la porción interna de la corteza de los frutos cítricos. 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 y factores extrínsecos, como pH, las sales disueltas y la presencia de azúcares. La viscosidad de sus dispersiones al igual que la de otros polisacáridos, se incrementa a medida que aumenta el peso molecular y el grado de esterificación. (Hoyos, Urrego. 1997.)

Quitosano

Este compuesto natural obtenido por desacetilación de la quitina, es un polisacárido catiónico formado de unidades de glucosamina con uniones β (1-4) (Hirano y Nagao, 1989).

Las películas también son preparadas desde el quitósan y sus derivados; las propiedades mecánicas, de barrera y su biodegradación son características estudiadas (Tangpasuthadol *et al.*, 2003;). Productos basados en derivados del quitósan son trabajados extensamente para alargar la vida en anaquel de frutas como la manzana, las peras, granadillas, etc. Se han realizado estudios en películas de quitósan-almidón las cuales han mostrado una alta permeabilidad a gases y un aumento en las propiedades mecánicas (Peesan *et al.*, 2005).

Se ha demostrado que el quitosano 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 quitosano depende de sus características físicas como el peso molecular y el grado de acetilación. El quitosán es un polímero completamente biodegradable y no tóxico (Shahidi, 1999).

Este polímetro abundante con capacidad de formación de películas y otras muchas aplicaciones a nivel industrial, se utiliza en textiles, cosméticos, productos químicos y medicinas así como también en el tratamiento de aguas. Es un material que posee grandes aplicaciones en empaques y coberturas de alimentos como una barrera contra los agentes contaminantes, microorganismos y el intercambio de agua y gases del exterior. (Miranda, Lara, Cárdenas, 2004)

Celulosa y derivados

La celulosa de éter aniónico y la carboximetilcelulosa (CMC), se solubilizan en agua siendo compatibles con otro tipo de biomoléculas, mejorando las propiedades mecánicas y de barrera en las películas elaboradas. La CMC es una película capaz de absorber el aceite recogido en los alimentos sometidos a proceso de fritura profunda (García *et al.*, 2004). Películas elaboradas de bagazo de yuca, CMC y residuos de papel Kraft han mostrado una alta resistencia, importante propiedad para la fabricación de panales de huevo, empaques para frutas y verduras. Es el más abundante de todos los materiales orgánicos, forma parte de los tejidos fibrosos de las plantas. Además está presente en vegetales y otros alimentos. (Matsui *et al.*, 2004)

Las películas de éter de celulosa poseen fuerza moderada, resistencia a grasas y aceites y son flexibles, transparentes, inoloras, insaboras, solubles en agua, moderada barrera a la humedad y al oxígeno. (Hoyos, Urrego. 1997.)

El acetato de celulosa es un material termoplástico. Las películas se pueden obtener por fundido con solventes, por extracción o ambas. Las películas de acetato de celulosa son cristalinas, duras y transparentes. Las propiedades de barrera contra la humedad y los gases no son buenas, Es también buena barrera a las grasas y aceites, aunque la sustitución química de celulosa generalmente disminuye la biodegradación. (Hoyos, Urrego. 1997.)

Goma gelana.

La goma gelana se ha empezado a usar generalmente por su estabilidad térmica y relativa resistencia al medio ácido, así como el color que proporciona, además de su alta eficiencia como gelificante. (Lapasin y Pricl, 1995)

Proteínas

Las proteínas al igual que los polisacáridos son buenas formadoras de películas, sin embargo debido a su naturaleza hidrofílica presentan propiedades de barrera a la humedad muy pobres (Fernández, Díaz, 2007).

Colágeno

Las películas de colágeno también son usadas tradicionalmente en la preparación de envolturas comestibles (Tharanathan, 2003). El colágeno es el mayor constituyente de la piel, tendones y tejidos conectivos, y se encuentra extensamente distribuido en las proteínas fibrosas de los animales. La gelatina resulta de una hidrólisis parcial del colágeno, produce una película flexible y gruesa y las propiedades mecánicas mejoran cuando se utiliza cloruro de sodio (NaCl) en concentraciones bajas (Lee *et al.*, 2004).

Este componente contribuye de modo significativo a la dureza de la carne, abunda en los tendones, piel y huesos. Las envolturas de colágeno han reemplazado casi completamente a las envolturas de intestino de animales, excepto para embutidos de mayor grosor que requieren envolturas gruesas. Provee integridad mecánica y funciona como barrera al oxígeno y a la humedad. (Hoyos, Urrego. 1997.)

Gelatina

Actualmente, los embutidos como salchichón, se recubren con la gelatina o con materiales derivados de mezclas de quitósan y gelatina. Usualmente, películas de un grosor aproximado de 2.5 mm, se fabrican por varios métodos y estas estructuras membranosas

delgadas son utilizadas para cubrir los alimentos o como medio de separación (Johnson *et al.*, 2001).

Es un producto obtenido por hidrólisis parcial del colágeno derivado de piel blanca o tejido conectivo y huesos de animales. La gelatina comestible se prepara de tres materias primas cuidadosamente seleccionadas: huesos limpios frescos o congelados, de piel de cerdo y tejido conectivo. Las cubiertas de gelatina se aplican a carnes frías para almacenarlas, la cubierta provee un grado de protección limitado contra el desarrollo de la rancidez oxidativa, sin embargo se incrementa la efectividad por la incorporación de antioxidantes y antimicrobianos. (Hoyos, Urrego. 1997.)

En la industria farmacéutica, las películas de gelatina son comúnmente utilizadas para fabricar tabletas o capsulas (Cuq *et al.*, 1998)

Zeína

La zeína es una fracción proteica del maíz, puede formar películas en soluciones acuosas alcohólicas duras, vidriosas y con gran resistencia (Ryu *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2003), y con la adición de un polialcohol se mejora el esfuerzo de tensión. (Tharanathan,2003). 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%. La barrera, adhesión de vitaminas y las propiedades como portador antimicrobiano, las películas de zeína se han utilizado en variedad de alimentos. (Hoyos, Urrego. 1997.)

El papel de la cubierta con zeína ha sido juzgado igual al papel de polietileno laminado para usos en los restaurantes de comidas rápidas con el fin de empacar alimentos grasosos y se ha encontrado que tiene buenas características de sellamiento al calor. (Hoyos, Urrego. 1997.)

Las películas de zeína actúan como barreras a la humedad, puede restringir el transporte de O₂ y sirven como vehículos para los antioxidantes. (Guilbert, 1986)

Proteínas de la leche

Las proteínas de la leche se clasifican en dos grandes fracciones: La caseína y las proteínas del suero.

Los caseínatos 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 caseínatos hace de ellos excelentes candidatos para la formación de películas emulsionadas. Las películas de caseinato puro son atractivas para uso en alimentos debido a su transparencia, flexibilidad y naturaleza blanda. Las películas de caseinato también son solubles en agua. (Hoyos, Urrego. 1997.)

El aislado de proteínas de suero lácteo es un material muy conocido para la formación de películas, las cuales resultaron ser una excelente barrera; teniendo una permeabilidad baja para el oxígeno, pero con alta permeabilidad al vapor de agua debido a su carácter hidrofílico (Pérez-Gago y Krochta, 2002)

Se ha hallado que el aislado de proteínas de suero se podría utilizar en la producción de películas obtenidas por calentamiento de soluciones con 8 -12 % de proteínas de suero en solución a 75°C -100°C. El calentamiento es esencial para la formación de puentes disulfuro intermoleculares necesarios para producir películas intactas (Hoyos, Urrego. 1997.)

La fragilidad de las películas hace que la adición de plastificantes sea necesaria, este proporciona flexibilidad a las películas, pero aumenta su permeabilidad a vapor de agua. (Shaw et al., 2002)

Las proteínas de suero de leche se mezclan con lípidos para reducir la permeabilidad a vapor de agua. y con caseinato de sodio para aumentar la solubilidad de las películas. ((Pérez-Gago y Krochta, 2001; y Ustunol Kim, 2001; Shaw et al., 2002)

Lípidos

Muchos estudios se han llevado a cabo en películas de hidrocoloides con lípidos a fin de aumentar su hidrofobicidad y, por tanto, para mejorar su permeabilidad al vapor de agua. (Yang y Paulson, 2000)

Acetoglicéridos

La acetilación del monoestearato de glicerol con anhídrido acético, produce un monoglicérido acetilado, el cual presenta la característica de solidificar a partir del estado fundido en un sólido flexible con apariencia de cera. La mayoría de los lípidos pueden estirarse en un estado sólido hasta un 102% de su longitud original antes de su ruptura. Sin embargo, el monoestearato de glicerol acetilado se puede estirar por encima de 800% de su longitud original, antes de su ruptura. Las propiedades de barrera de los monoglicéridos acetilados se incrementan al aumentar el grado de acetilación, debido a la remoción de grupos hidroxilo libres, ya que estos interactúan directamente con la migración de moléculas de agua. (Hoyos, Urrego. 1997.)

Ceras

El uso de cera para cubrir las frutas por inmersión es uno de los métodos más antiguos, practicado desde principios del siglo XII (Krochta *et al.*, 1994). Se practicó en China, con el propósito de retardar la transpiración en limones, naranjas y se sigue utilizando en pimentones, manzanas, peras, etc. (Hagenmaier, 2005). La preservación de frutas frescas y secas se realiza con estas ceras y se practica desde tiempos inmemorables. El cubrimiento con ceras naturales fundidas en la superficie de frutas y vegetales ayudan a prevenir la

disminución de la humedad, específicamente durante los cambios de estación. La cera, las ceras parafinadas, la cera de candelilla, son algunas de las ceras preparadas y usadas en tales aplicaciones; ellas también son usadas como agentes de micro encapsulación, específicamente para sustancias con olores y sabores a condimento (Tharanathan, 2003).

La aplicación de una capa de lípidos como suplemento en la superficie de frutas reemplaza las ceras naturales de la cutícula, las cuales pueden haber sido parcialmente removidas durante el lavado. Las ceras que se aplican a productos perecederos frescos para retardar la desecación son: cera de abejas, cera carnauba, cera candelilla y cera de salvado de arroz. (Hoyos, Urrego. 1997.)

También se incorporaron aceites en las películas para mejorar la resistencia al vapor de agua. . (Hoyos, Urrego. 1997.)

2.2 Generalidades de la pera

Esta fruta pertenece a la familia de las Rosáceas, Su forma depende de la variedad que se trate, su sabor, textura y color, que va desde el amarillo hasta el verde pasando por el rojo y el pardo. (www.frutas.consumer.es,2007)

Esta fruta es originaria de regiones de Europa oriental y de Asia occidental, donde su cultivo se viene realizando desde épocas muy remotas. Los griegos y los romanos conocieron el cultivo del peral y fueron estos últimos los que lo introdujeron en la Cuenca del Ebro. China y España son los principales países productores en la actualidad. (www.frutas.consumer.es,2007)

Su componente mayoritario es el agua. Destaca su aporte de azúcares, fibra, minerales como el potasio y taninos de acción astringente. Su contenido de vitaminas no es destacable. El potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. (www.frutas.consumer.es,2007)

La producción de pera en México es una actividad que se realiza en cerca de 21 estados de la república; sin embargo, como en muchos otros casos de la agricultura nacional, esta tarea se concentra en cinco entidades que por orden de importancia son: Michoacán, Puebla, Morelos, Veracruz y Chihuahua. (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria, Órgano Desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, fundado en 1991.)

2.3 Fisiología pos cosecha

Las etapas fisiológicas del fruto son: el crecimiento del fruto, la maduración y la senescencia, durante las cuales el proceso de respiración para los frutos climatéricos y no climatéricos tiene diferente patrón de comportamiento.

El proceso de respiración de las frutas es una combinación entre la producción de dióxido de carbono y consumo de oxígeno, mediante procesos de difusión celular (Schouten, 2004).

La inhibición del proceso respiratorio incide directamente en el sostenimiento de la calidad de frutas y hortalizas y puede realizarse por medio del manejo de atmósferas controladas o modificadas (Amarante & Banks, 2001), así como mediante el control de la temperatura y la humedad relativa de almacenamiento (Coutinho, 2003).

La respiración es un indicador de la actividad metabólica de las frutas u hortalizas y, en general, la velocidad de deterioro de estos alimentos es proporcional a su intensidad respiratoria. La intensidad respiratoria depende de factores internos y externos. En cuanto a las características de los vegetales, se distinguen frutos climatéricos y no climatéricos. En los primeros al llegar la madurez la intensidad respiratoria aumenta bruscamente hasta un máximo o pico climatérico y a continuación disminuye, mientras que en los no climatéricos la intensidad respiratoria apenas se modifica al alcanzar la madurez fisiológica y permanece constante incluso después de la recolección. El deterioro de los frutos climatéricos es más rápido que el de los no climatéricos.

La transpiración es el proceso a través del cual el producto fresco pierde agua y la intensidad de esta pérdida de aguas esta asociada a distintos condicionantes. La relación superficie volumen afecta a la transpiración, en el sentido de que cuanto mayor es la superficie por unidad de volumen, mas acusadas son las perdida de agua por evaporación.

La pera es un producto climatérico y debe cosecharse cuando la intensidad respiratoria presenta un valor mínimo, con el fin de facilitar su manejo pos cosecha y prolongar el tiempo de almacenamiento, retardando el climaterio y disminuyendo los cambios fisiológicos como la hidrólisis del almidón, aumento de los sólidos solubles totales, pérdida de color y la transformación de la protopectina, responsable por la turgencia y pérdida de firmeza de la pulpa (Pantastico, 1979).

El éxito de un almacenaje radica, entre otros, en determinar la fecha de cosecha oportuna y retrasar la producción de etileno de la fruta. Wang (1982) señaló que peras cosechadas en su plena madurez son menos susceptibles a desórdenes fisiológicos y poseen mejor capacidad para madurar después de almacenaje prolongado. La firmeza de pulpa y la concentración de sólidos solubles (SS) se utilizan comercialmente para determinar el inicio de cosecha, con valores recomendados de 7,7 kg (17 lb) y 13°Brix o 8,2 kg (18 lb) y 14°Brix (Gil y Zoffoli, 1989). Una vez alcanzada la maduración, el proceso de senescencia es rápido e irreversible, por lo que una reducida síntesis y/o acción del etileno implica una menor senescencia y, por ende, mayor duración de la fruta en almacenaje.

La pera se distingue de otras frutas en que su maduración se desarrolla sólo después de un período de exposición a baja temperatura (-1 a 0°C) y posterior mantención a 18°C (Richardson y Gerasopoulos, 1994). Bajo esta condición se estimula la síntesis de etileno y la sensibilidad de los tejidos hacia este compuesto (Blankenship y Richardson, 1985, Gil y Zoffoli, 1989; Abeles *et al.*, 1992).

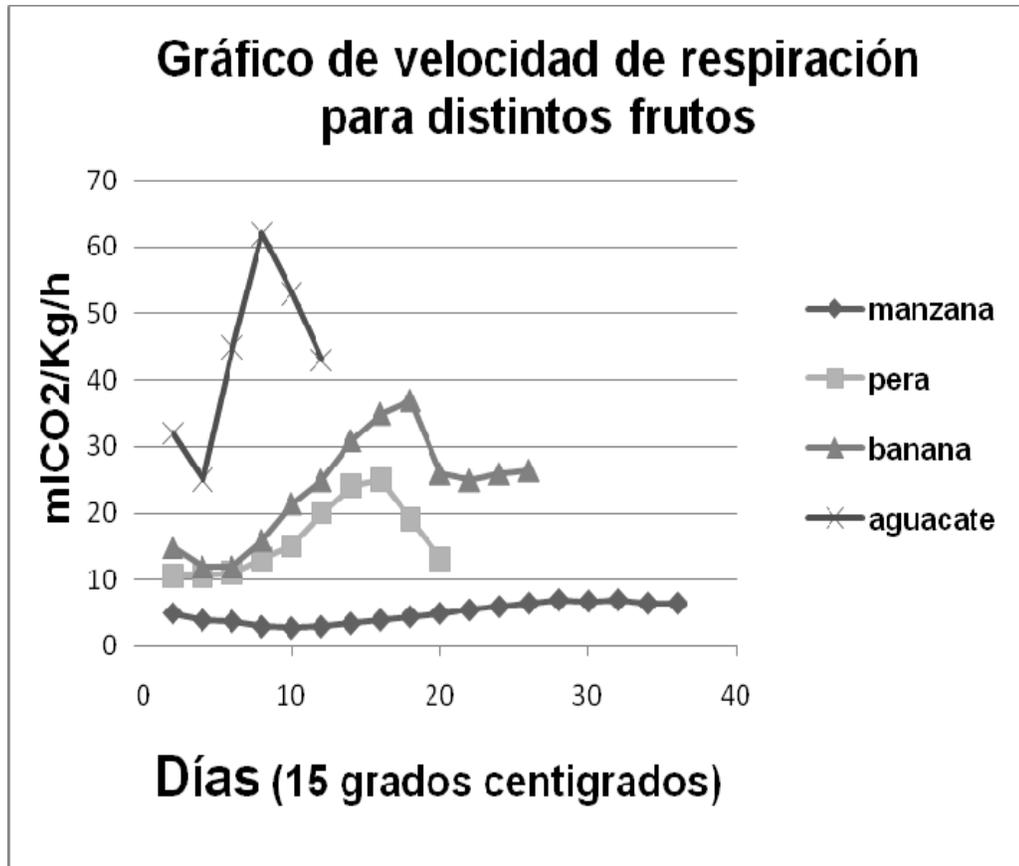


Figura 1. Velocidad de respiración de diferentes frutos a 15⁰C. (Biale, 1956)

3. Justificación

El creciente interés por el desarrollo de películas y cubiertas comestibles para incrementar la calidad 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 empaqueo 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 de empaque plásticos actuales. En este sentido biopolímeros como la goma gelana y PSL se presentan como una alternativa potencial para el recubrimiento de alimentos, en este sentido el presente proyecto pretende evaluar el comportamiento de gelana y PSL sobre un fruto modelo.

El aprovechar los recursos naturales como fuente de conservación y reciclaje se convierte en una excelente opción e innovación en el desarrollo de nuevos productos biodegradables. Su total biodegradación en productos como CO₂, agua y posteriormente en abono orgánico es una gran ventaja frente a los sintéticos

4. Hipótesis

- Los recubrimientos de PSL-gelana actúan como una barrera semipermeable al CO₂, disminuyendo la tasa de respiración de los frutos y por tanto retardan su maduración.
- Los recubrimientos de PSL-gelana retardan los cambios en las propiedades mecánicas de los frutos.
- Las propiedades fisicoquímicas de los frutos durante el proceso de maduración son retardadas de manera favorable, con el empleo de recubrimientos de PSL-gelana.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de películas comestibles elaboradas con gelana-proteína de suero de leche durante el proceso de maduración de frutas.

5.2 Objetivos específicos

- Determinar la concentración de CO₂ en peras recubiertas con películas comestibles de proteína de suero de leche-gelana.
- Analizar los cambios en las propiedades mecánicas en frutos recubiertos con películas comestibles de proteína de suero de leche-gelana.
- Evaluar los cambios en las propiedades físico-químicos de la fruta recubierta con películas comestibles de proteína de suero de leche-gelana, durante el proceso de maduración: pH, acidez, pérdida de peso, firmeza de pulpa.

6 Metodología

6.1 Metodología general

La metodología general empleada se muestra en la figura 2.

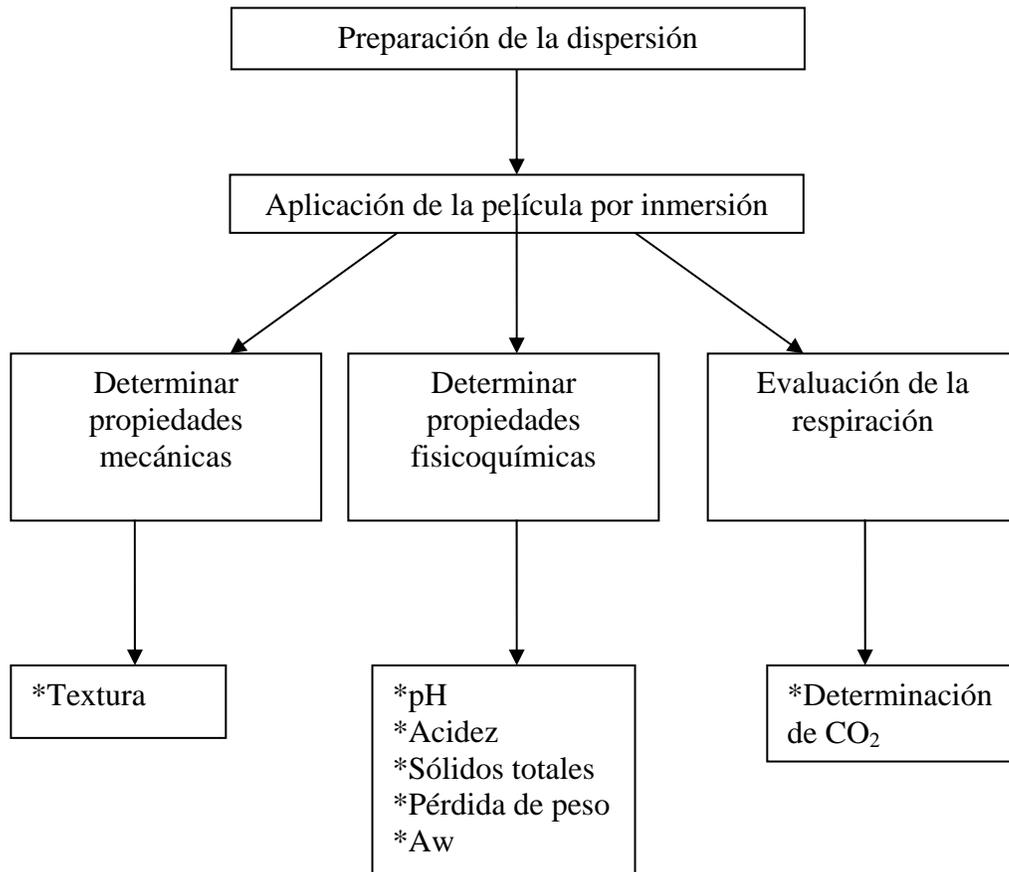


Figura 2. Esquema general de la preparación del recubrimiento y la secuencia experimental.

6.2 Materiales

Los materiales empleados fueron Goma gelana de bajo acilo C.P. Kelco, proporcionada por la empresa Dermet de México. Proteína de suero de leche proporcionada por la empresa NUTRER S. A. de C. V. y glicerol proporcionado por HYCEL DE MÉXICO S. A. De C. V. Los frutos empleados fueron peras variedad D´Anjou con un color de maduración amarillo brillante, comprada en la central de abastos del Ecatepec Edo. de México.

6.3 Descripción de los métodos

6.3.1 Elaboración de películas

Las películas o recubrimientos fueron obtenidos de dispersiones elaboradas con las mezclas de gelana y proteína de suero de leche de acuerdo a las formulaciones mostradas en la tabla 1 las cuales se basaron en trabajos anteriores hechos en la unidad en los cuales primero se hizo un diseño de experimentos (anexo 1) y posteriormente con este diseño se estudio el coeficiente de difusión a vapor de agua (CDVA) y en base a estos resultados (anexo 2), se eligió la formulación con el CDVA menor (CUB7), el CDVA mayor (CUB6) y un CDVA intermedio (CUB13). Las dispersiones fueron preparadas con agua destilada a una temperatura de 60 °C de forma inicial y una vez dispersos los componentes con agitación constante, se siguió calentando hasta una temperatura de 90 ° C, posteriormente se agregó glicerol cuando la dispersión alcanzo 40-45°C, finalmente se ajusto el pH.

Tabla1. Formulaciones de los recubrimientos.

Película	Glicerol (%)	Concentración de PSL (%)	Concentración de gelana (%)
CUB6	5	0.25	0.75
CUB7	1	0.75	0.25
CUB13	3	0.5	0.5

6.3.2 Acondicionamiento y recubrimiento del fruto

- Las peras son lavadas suavemente con agua y jabón, y posteriormente, sanitizadas por inmersión en agua a 20°C usando cloro a 100ppm. Una vez sanitizadas las peras son secadas para su posterior recubrimiento.

Una vez sanitizadas las peras, son sumergidas en la dispersión de gelana y proteína de suero de leche durante 20 segundos y posteriormente pasan a una cámara a temperatura de refrigeración 3°C, durante 48 hrs, Posteriormente se mantienen a temperatura ambiente 20 °C, para realizar las pruebas correspondientes.

6.3.3 Pruebas fisicoquímicas

Pérdida de peso.

- El fruto debe de ser pesado antes de ser recubierto (este será el peso inicial), se registra el peso correspondiente a cada día del período de almacenamiento (peso final para cada día) y finalmente se calcula el porcentaje de pérdida de peso con respecto al peso inicial, empleando una balanza analítica.

Acidez titulable.

- Se trituran 20g de pera, lo cual se afora a 100 mL con agua destilada, se dejan reposar 20min y se filtra; posteriormente se titularán 20 mL de esta solución empleando NaOH 0,1N y fenolftaleína como indicador. Los resultados se expresan en % de ácido málico. (FAO, 2007)

Determinación de pH.

- Se trituran 6g de pera a los cuales se agregan 50mL de agua destilada y se mide el pH con electrodo de vidrio (plata/cloruro de plata). (FAO, 2007)

Sólidos solubles (⁰Brix).

- Para esta prueba se utiliza un refractómetro de Abe.

Se agregan una o dos gotas de la muestra de jugo de pera sobre el prisma, el cual será cubierto con la tapa procurando tener cuidado; al cerrar, la muestra debe distribuirse sobre la superficie del prisma. Se orienta el aparato hacia una fuente de luz, y se observa a través del campo visual; en el campo visual, se verá una transición de un campo claro a uno oscuro. Se lee el número correspondiente en la escala; este corresponde al porcentaje de sólidos de la muestra. Los sólidos totales se reportan como ⁰Brix. (FAO, 2007)

Actividad acuosa (Aw)

- La actividad acuosa se midió utilizando el equipo AQUALAB Aw Meter, exactitud ± 0.001 Aw, rango .030 a 1.00 Aw, Ambiente de operación de 5 a 50 °C (41 a 122 ° F) y de 20 a 80 % humedad.
- Primero se corta un trozo de pera en cuadros de 0.3cm de lado aproximadamente, posteriormente se introduce la muestra al equipo, esperar la lectura que será proporcionada por el equipo y registrarla.

6.3.4 Permeabilidad a CO₂

- La concentración del gas CO₂ se midió utilizando un método foto térmico. Se colocaron los frutos en frascos de vidrio y se mantuvieron a 20 \pm 1 °C en una cámara (Hot Pack, USA) en la cual por medio de un flujómetro se introdujo aire (5L/h) y se conectó la salida a un analizador de gases por infrarrojo (ABB Automation Products Alemania) para cuantificar la cantidad de CO₂. Las técnicas asociadas están basadas en la detección del incremento de la temperatura de la muestra producido por la rápida

relajación colisional de la energía luminosa absorbida por la especie cuya concentración debe ser medida. La mayor ventaja de estas técnicas no destructivas reside en que las señales foto térmicas son proporcionales a la energía absorbida y se logran altas sensibilidades sin un fondo continuo. La técnica foto acústica está basada en que el calentamiento localizado genera una onda de presión que originan ondas acústicas. (Tomás S. A. y col. , 2004)

6.3.5 Pruebas mecánicas

Firmeza de pulpa.

- La firmeza de la pera se determinó empleando un texturómetro (TAXT2i Texture analyzer SMS, UK), con una distancia de penetración de 10mm, a una velocidad de ensayo de 1 mm/s, sonda P2N aguja.

Se prende el equipo y se entra al software del mismo. Se conecta la sonda y se calibra el equipo (colocando una pesa de 5kg). Declarar las condiciones de trabajo (distancia=10mm, velocidad de ensayo=1mm/s). Colocar la pera en la base del texturómetro, dirigirse al software y ejecutar el ensayo. Se registra la lectura obtenida.

7. Resultados y análisis

Los resultados obtenidos para los ensayos de las pruebas fisicoquímicas se muestran en las figuras 3-9.

7.1 Pérdida de peso

La figura 3 muestra la evolución del peso de la pera a lo largo de 12 días. Las pérdida de peso son atribuidas a la transpiración del vapor de agua y de los compuestos volátiles, por esta razón con el recubrimiento se busca formar una barrera semipermeable a éste para disminuir esta pérdida de peso debida a la pérdida de vapor de agua. Se puede observar como en los frutos con cobertura pierden peso a una menor velocidad respecto al control. Las cobertura CUB6 presenta una pérdida de peso del 2% a lo largo de 12 días de almacenamiento, mientras que la CUB7, presento una pérdida del 3.5 %, muy parecida a la del control, la cual fue de 4 %. Los frutos cubiertos con la película CUB6 fueron los que presentaron una menor pérdida de peso (2%). Por otro lado se observa que las peras cubiertas con películas que tiene una mayor concentración de PSL en su formulación, también presentan una pérdida de peso más rápida. Lo anterior permite suponer que la PSL tiene una influencia directa sobre la permeabilidad al vapor de agua.

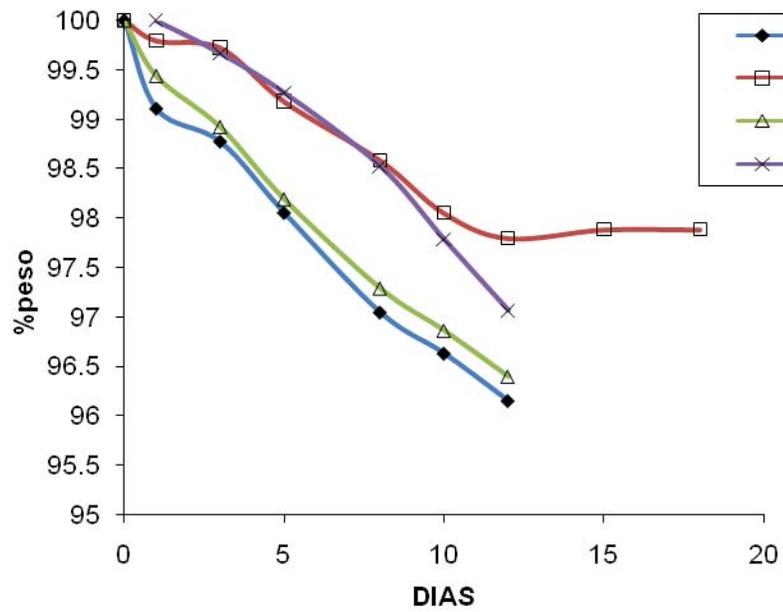


Figura 3. Comportamiento de la pérdida de peso para cada recubrimiento

7.2 Acidez titulable.

La figura 4 presenta la evolución de la acidez en frutos cubiertos y sin cubrir durante el almacenamiento. En la figura 4 se observa que los cambios más importantes con respecto a la acidez se presentan en las peras control y en las peras cubiertas con la película CUB7.

Durante el desarrollo de frutos debe de haber una correspondencia entre el porcentaje de acidez y el contenido de azúcares, en la maduración debe haber un alto contenido de azúcares y un bajo contenido de ácidos. En la figura 4 se observa que a medida que el fruto madura se el porcentaje de acidez en el fruto va en descenso lo cual corresponde a las características propias en la maduración.

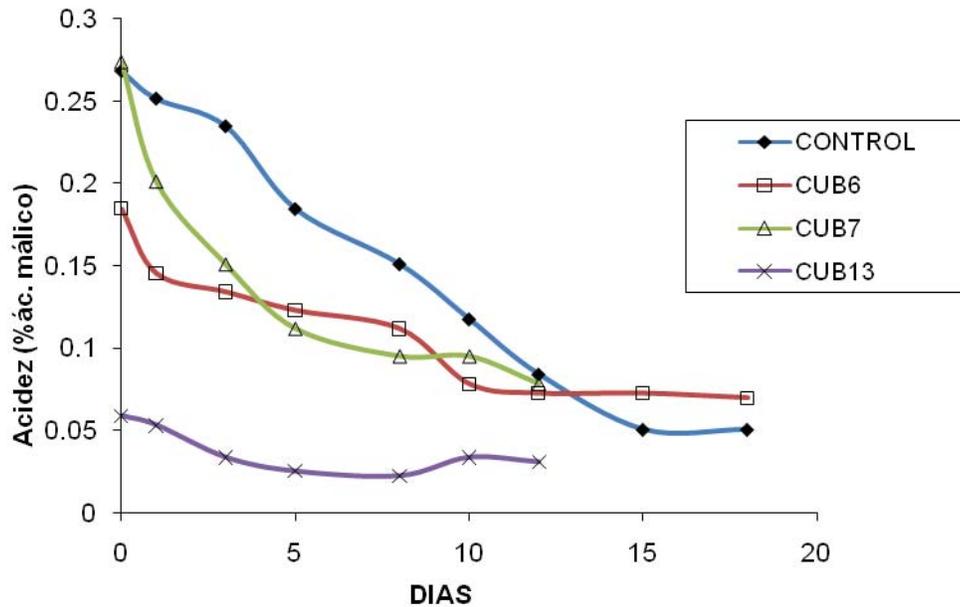


Figura 4. Comportamiento de la acidez titulable para cada recubrimiento.

7.3 Determinación de pH

El comportamiento del pH de los frutos cubiertos y sin cubrir se muestra en la figura 5, en donde los frutos que presentan menos cambios respecto al pH son aquellos que tienen la película CUB.7. Los cambios en los valores de pH están asociados a los cambios de madurez de un fruto, sin embargo aquellas peras que fueron cubiertas con la película CUB7 presentan menos variaciones respecto al control y a las otras dos coberturas, por lo que se puede presumir una disminución o retardo en la madurez de los frutos que fueron cubiertos con la película CUB6.

Los factores pH y porcentaje de acidez, presentaron una correspondencia en su comportamiento ($>$ % de acidez, $<$ pH), ya que durante la maduración del fruto el pH iba en aumento mientras que la acidez disminuía.

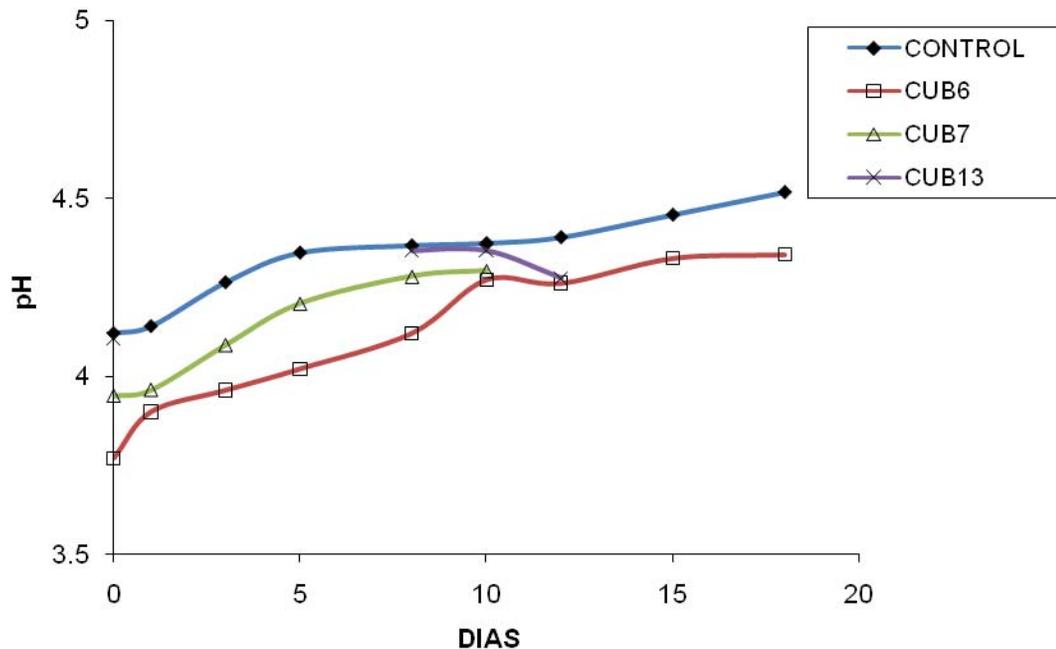


Figura 5. Comportamiento del pH para cada recubrimiento.

7.4 Determinación de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix).

Durante la maduración se dan cambios en la composición de carbohidratos como es la hidrólisis de los almidones, que se desdoblán en disacáridos y monosacáridos más simples como sacarosa, fructuosa y glucosa o la interconversión de azúcares trayendo como consecuencia un cambio significativo en los sólidos solubles a través de la maduración del fruto, mejorando la calidad en el sabor de l fruto. Durante la maduración de los frutos podemos observar que el contenido de sólidos solubles va en aumento para todas las coberturas (CUB6, CUB7 y CUB13) con un comportamiento muy similar al del fruto control hasta llegar a un máximo, lo cual es el comportamiento esperado ya que estos sólidos solubles se relacionan directamente al contenido de azúcares de nuestro fruto, este parámetro es muy importante ya que nos indica que el recubrimiento no se altera el desarrollo de los azúcares en el fruto lo cual representa una característica organoléptica del fruto muy importante en su consumo.

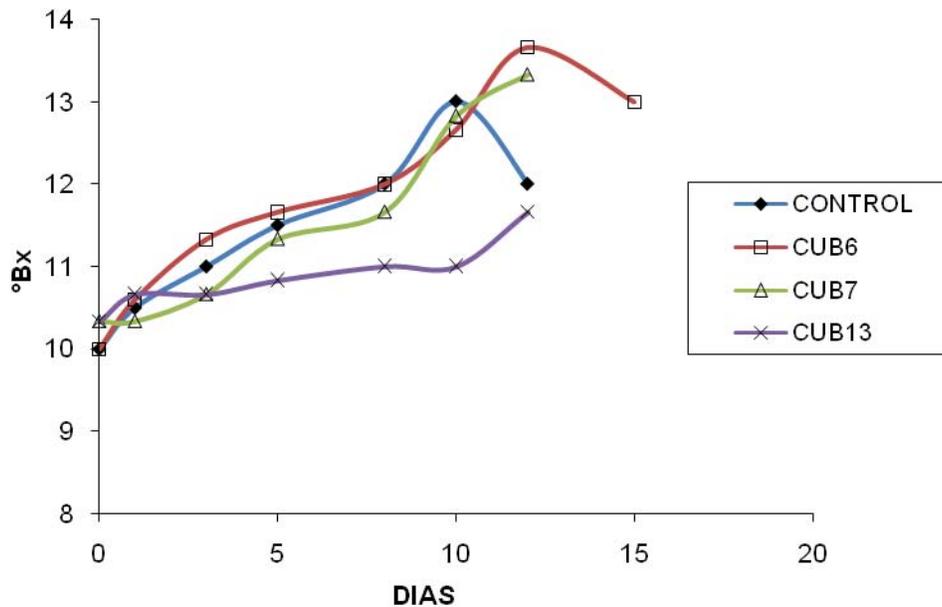


Figura 6. Comportamiento sólidos totales para cada recubrimiento.

7.5 Determinación de A_w

El comportamiento de la actividad acuosa de las peras durante el almacenamiento se muestra en la figura 7. No obstante que en la figura se muestra una tendencia a incrementar, tanto en las peras cubiertas como sin cubrir, el análisis comparativo de medias mostró que no existe diferencia significativa ($p < 0.05$).

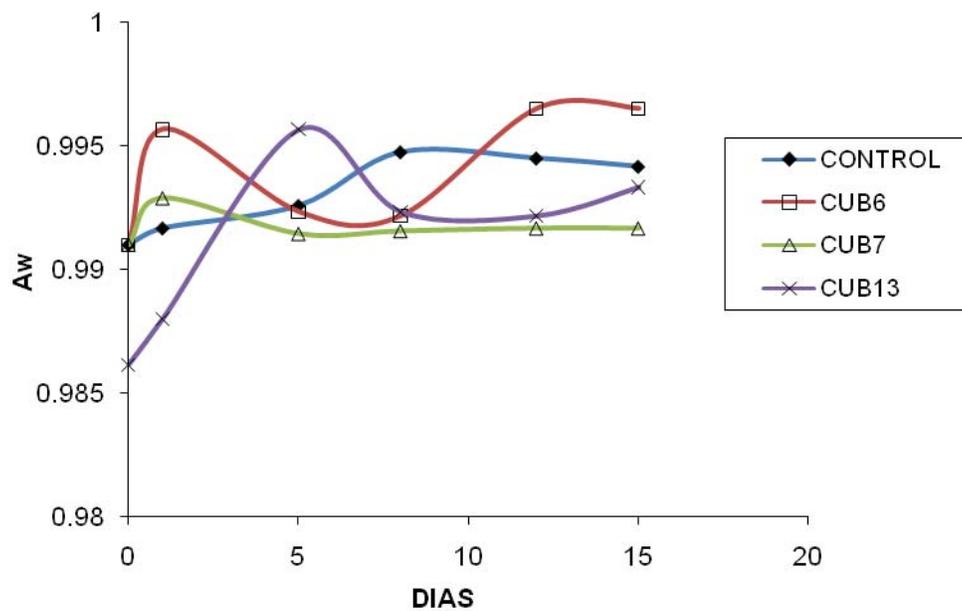


Figura 7. Comportamiento de actividad acuosa para cada recubrimiento.

7.6 Determinación de permeabilidad a CO₂.

Las coberturas comestibles modifican la atmósfera de los frutos, esta modificación disminuye la velocidad de respiración de los frutos, prolongando su vida útil. La figura 8 muestra el comportamiento de las peras cubiertas con PSL y gelana. La respiración es un proceso por el cual la energía química de la molécula de glucosa se libera, transformándose en otra forma de energía que la célula puede utilizar; la molécula de ATP, para llevar a cabo sus actividades celulares. El patrón de la respiración climatérica y no climatérica durante el desarrollo de frutos resulta similar hasta cuando entran a la etapa de la maduración y senescencia donde los frutos climatéricos aumentan la tasa de respiración, en este sentido las peras control presentan el comportamiento esperado para frutos climatéricos, mientras que para las peras con cobertura se muestra un comportamiento de fruto no climatérico. Al respecto los frutos control presentaron su punto de climaterio entre los 9 y 11 días de almacenamiento, con una producción máxima de CO₂ de 18 mL CO₂/Kg*h, otros autores (Biale, 1956) reportan la producción de 25 mL CO₂/Kg*h, sin embargo las diferencias dependen en muchas ocasiones del manejo y corte del fruto, particularmente debido a que este fruto es susceptible a daño mecánico. Durante los diecinueve días de almacenamiento las peras los frutos cubiertos con las diferentes coberturas no mostraron cambios en la tasa de respiración, lo anterior indica que la velocidad de respiración fue atenuada probablemente por el efecto barrera que se obtiene por parte de las coberturas de PSL y gelana. Los frutos cubiertos no presentaron un incremento en la velocidad de respiración al menos durante el tiempo de experimentación. Otros autores (Aguilar-Méndez y col., 2008), presentan resultados respecto a la velocidad de respiración con aguacate y muestran que en aguacates en cubiertos con diferentes formulaciones de gelatina, se presenta un efecto de retardo de seis días en la madurez del fruto pero finalmente la tasa de respiración llega a

valores de producción de CO₂ muy cercanos a los del control. En el caso particular de las peras después de nueve días de haberse presentado la máxima tasa de producción en el control, no se observan cambios en las peras cubiertas, probablemente la producción de CO₂ máxima se presente en un periodo más largo aun no estimado.

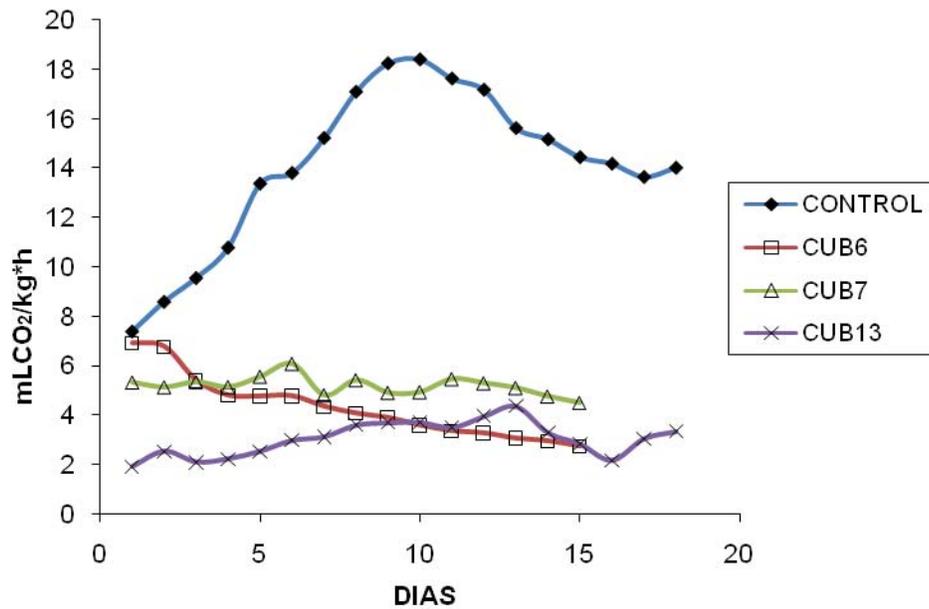


Figura 8. Comportamiento de la permeabilidad a CO₂ para cada recubrimiento.

7.7 Determinación de firmeza de pulpa

La figura 9 muestra los cambios que sufrieron las peras cubiertas con respecto a la fuerza de penetración. Se observa que la pérdida de la firmeza disminuye a medida que se prolonga el almacenamiento, durante el tiempo de almacenamiento las peras control presentaron al final una firmeza de 0.00008 N mientras que las peras con la cubierta CUB6 fueron las que mostraron una menor pérdida de firmeza con un valor de 0.00018. En todas las peras cubiertas se presentó un reblandecimiento reflejado en la fuerza de penetración, los cambios más importantes se presentaron en aquellas peras que fueron cubiertas con la película CUB7 y el control. Esta disminución de la fuerza máxima de penetración puede atribuirse a los cambios propios en las paredes celulares de la pulpa durante el proceso de maduración, producto de la degradación por hidrólisis del componente péptico, que a la vez desagregan otros compuestos, como celulosa y hemicelulosa, esto se le atribuye principalmente a la descomposición de la protopectina insoluble en pectina soluble, se alteran otros componentes de la pared celular, y se da la hidrólisis de compuestos almacenados produciendo generalmente azúcares en la fruta y reduciendo así la dureza del fruto.

Por otro lado, las células de la epidermis presentan un comportamiento ligeramente elástico a medida que pasan los días de pos cosecha, lo cual se origina principalmente en la formación de ácidos pépticos solubles, y genera una mayor flexibilidad en el material.

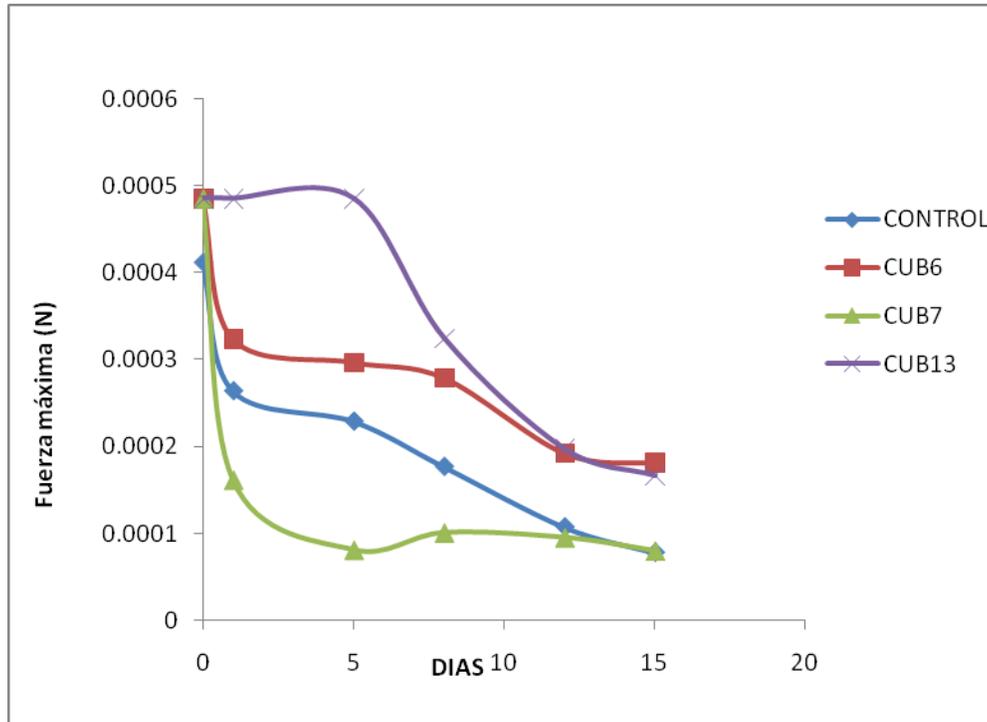


Figura 9. Comportamiento de firmeza de la pulpa para cada recubrimiento.

8. Conclusiones

- Las coberturas disminuyen significativamente la tasa de respiración de la pera.
- El fruto con la cobertura CUB13 es el que tiene una tasa de respiración menor entre los frutos recubiertos.
- Los frutos con recubrimiento presentan menor pérdida de peso comparados con los frutos que no tenían recubrimiento.
- Los frutos con la cobertura CUB6 son los que presentaron una menor pérdida de peso.
- La acidez titulable mostró un descenso durante la maduración mientras que los sólidos solubles aumentaron durante la misma.
- El pH mostró un aumento durante la maduración siendo el fruto con el cobertura CUB6 el que presenta una mayor diferencia con el fruto control.
- Las coberturas no presentaron efecto significativo respecto a la actividad acuosa de los frutos.
- La firmeza en las peras con cobertura presentan un mayor periodo de firmeza con respecto a las que no fueron cubiertas.

9. Recomendaciones para un trabajo futuro.

- Analizar la posibilidad de añadir un antimicrobiano para prevenir proliferación de microorganismos y así aumentar la vida de anaquel de los recubrimientos.
- Realizar una evaluación sensorial para comparar las características organolépticas de los frutos con recubrimiento con las de los frutos sin recubrimiento con el fin de verificar que estas características sean agradables al consumidor.
- Realizar un análisis de color a los frutos para medir la pérdida de color verde (clorofila).
- Estudiar el efecto de los recubrimientos en otros frutos.
- Determinar la tasa de respiración para un periodo mayor de tiempo.

10. Bibliografía

1. Abeles, F.B., P.W. Morgan, and M.E. Saltveit Jr. 1992. Ethylene in plant biology. Página 414 2da ed. Academic Press, San Diego, California, USA.
2. Acosta, H.; Villada, H. y Ramírez, J. 2006. Envejecimiento de almidones termoplásticos agrios de yuca y nativos de papa por Microscopía de Fuerza Atómica. *Información Tecnológica* 17(3):71-78
3. Aguilar, M.M.A.; San Martín, M.E.; Tomás, S.A., Cruz O.A.; y Jaime, F.M.R. (2008). Gelatine–starch films: Physicochemical properties and their application in extending the post-harvest shelf life of avocado (Persea Americana). *J.Sci. Food Agric* 88:185-193.
4. Albert S., Mittal G.S., 2002. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep fried cereal product. *Food Res. Inter.* 35, 445-458.
5. Alvarado, J. de D., Obtención de quitina, transformación a quitosanos y elaboración de películas biodegradables a partir de desperdicios de crustáceos. (2005)
6. Amarante, C.; Banks, N.H. Postharvest physiology and quality of coated fruits and vegetables. *Horticultural Reviews*, New York, v.26, p.161-238, 2001.
7. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria, Órgano Desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, fundado en 1991.
8. Aranceta Bartrina, J. Frutas, Verduras y Salud, Editorial Masson, 2006. PAG127-136
9. Avérous. L., Boquillon, N. 2004. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours. *Carbohydrate Polymer* 56:111-112

10. Bains J. S., Shaw C. A. Neurodegenerative disorders in humans: the role of glutathione in oxidative stress-mediated neuronal death. *Brain Res Brain Res Rev.* 1997; 25:335–358.
11. Beaufort D., Gaboreau S., Cuney M., Quirt D., Patrier P., and Mathieu R. Significance of aluminum phosphate-sulfate minerals associated with U unconformity-type deposits. *The Athabasca basin, Canada American Mineralogist*, February 1, 2007; 92(2-3): 267 - 280.
12. Benavides, C. 2002. Quitina-Quitosana: Los polímeros del futuro. SENA-CDT-Regional Valle, Cali, pp 6-61.
13. Biale, J.B. 1956. Postharvest physiology and biochemistry of fruits. *Ann Rev. Plant Physiol.* 1:183-206.
14. Blacido, D.; Sobral, P. y F.C. 2005. Menegalli, Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Food Engineering* 67:215-223
15. Blankenship, S.M., and D.G. Richardson. 1985. Development of ethylene biosynthesis and ethylene-induced ripening in ‘d’Anjou’ pears during the cold requirement for ripening. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 110:520-523.
16. Bosquez Molina E. Desarrollo de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para la conservación de frutas. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Biotecnología.2004.
17. Coutinho, E.F., Malgarim, M.B., Souza, E. L., Treptoe, R.O. Qualidade pós-colheita da pêra (*Pyrus communis* L.) cultivar carrick, submetida a diferentes

- condições de armazenamento. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v.25, n.3, p.417-420, 2003.
18. Cuq B., Gontard N. and Guilbert S.. Proteins as agricultural polymers for packaging production. *Cereal Chemistry* 75(1) 1-9, 1998
19. Donhowe, I. G., & Fennema, O. Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions, and testing methods, 1994.
20. Evans. J. D., and Sikdar. S.K., 1990. Biodegradable plastics: An idea whose time has come? *Chem. Tech.* 20: 38-42.
21. Fernandez. Diaz. L, de Apodaca.M, Mate, J. 2007. Effect of unsaturation degree and concentration of fatty acids on the properties of WPI-based edible films. *Eur Food Res Technol* 224:415-420.
22. Finkenstadt, V y Willett, J. 2004. A direct-current resistance technique for determining moisture content in native starches and starch-based plasticized materials. *Carbohydrate Polymer* 55:149-154
23. Fishman, M.; Coffin, D.; Onwulata, C. y Konstance, R. 2004. Extrusion of pectin and glycerol with various combinations of orange albedo and starch. *Carbohydrate Polymer* 57:401-413
24. García, M.; Pinotti, A.; Martino, M. y Zaritzky, N. 2004. Characterization of composite hydrocolloid films. *Carbohydrate Polymer* 56:339-345
25. Gennadios, A. Kim, K.M., Hanna, M.A. and Weller, C.L., 2002. Heat curing of soy protein films at atmospheric and sub-atmospheric conditions. *Journal of Food Science* 67:708-713.

26. Gennadios. T. H, McHugh. C, Weller, and. Krochta. J. M., Baldwin E., and Nisperos - Carriedo M. 1994. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 201–278.
27. Gil, G., y J.P. Zoffoli. 1989. Madurez de consumo de peras. *Revista Frutícola* 10:14-16.
28. Guilbert, S. 1986. Technology and application of edible protective films. In "Food Packaging and Preservation. Theory and Practice". Ed. M. Mathlouthi, Elsevier Appl. Science Pub. Co., London, England. p. 371.
29. Guilbert, S., Gontard, N. and Raoult-Wack, L. 1995. Superficial Edible Films and Osmotic Dehydration: Application of Hurdle Technology without Affecting the Food Integrity. *Food Preservation by Moisture Control. Fundamentals and Applications*. Lancaster-Basel: Technomic Publishing. pp. 305-323.
30. Hagenmaier, R.D. 2005. A comparison of ethane, ethylene and co2 peel permeance-diffusion for fruit with different coatings. *Postharvest Biology and Technology*. 37:56-64
31. Hirano, A. and Nagao, N. 1989. Effects of chitosan, pectic acid, lysozyme, and chitinase on the growth of several phytopathogens. *Agriculture Biological Chemistry*. 11:3065-3066
32. Holdsworth.S.D. Conservación de frutas y hortalizas. Ed acribia S.A, impreso en España,1988.
33. Hoyos. R. Margarita, Urrego. Libia, 1997. Empaques y/o películas comestibles y biodegradables. Facultad de Química Farmacéutica. U de A. Pág. 8-107.
34. <http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/pera/intro.php>

35. Kim S-J and Ustunol Z. "Sensory attributes of whey protein isolate and candelilla wax edible films." *J. Food Sci.* 66:909-911, 2001.
36. Krochta, J.; Baldwin, E y Nisperos-Carriedo, M. 1994. Edible coatings and films to improve food quality. *Technomic Publishing Company*, New York, p1344
37. Kulinski, Z. y Piorkowska, E. 2005. Crystallization, structure and properties of plasticized poly (Llactide). *Polymer* 46(23):10290-10300
38. Lapsin, R. and Pricl, S. 1995. Rheology of industrial polysaccharides. Theory and applications. *Blackie Academic and Professional*, London. ISBN 0-7514-0211-7, 620 pp
39. Lee, K.; Shim, J. y Lee, H. 2004. Mechanical properties of gellan and gelatin composite films. *Carbohydrate Polymer* 56:251-254
40. Marshall L. y Coffin D. 1998. Mechanical, microstructural and solubility properties of pectin/poly (vinylalcohol) blends. *Carbohydrate Polymer* 35:195-203
41. Matsui, K.; Larotonda, F.; Paes, S.; Luiz, D.; Pires, A. y Laurindo, J. 2004. Cassava bagasse-Kraft paper composites: analysis of influence of impregnation with starch acetate on tensile strength and water absorption properties. *Carbohydrate Polymer* 55: 237-243
42. Miranda. P.S., Garnica,. Lara.Sagahon. O, V. and Cárdenas, G.J.Chil.Chem.Soc.49 173-178, 2004.
43. Pantastico, E.B. Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. México: Editorial CECSA, 1979.

44. Parra, D.; Tadini, C.; Ponce, P. y Lugao, A. 2004. Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymer* 58:475-481
45. Peesan, M.; Supaphol, P. y Rujiravanit, R. 2005. Preparation and characterization of hexanoyl chitosan/polylactide blend films. *Carbohydrate Polymer* 63(1): 1-8
46. Pérez Gago J. P, Nadaud. M.B., and Krochta, J.M. 1999. *Food Science*. Regional Valle, Cali, p6-61.
47. Richardson, D., and D. Gerasopoulos. 1994. Controlled atmosphere recommendations for pear fruits and storage chilling satisfaction requirements for ripening winter pears. *Acta Hort.* 367:452-454.
48. Richardson, D., and E. Kupferman. 1997. Controlled atmosphere storage of pears. CA '97 Proceedings, Vol. 2. p. 31-35. Postharvest Horticulture Series No. 16, University of California, Davis, USA.
49. Ryu, S.; Rhim, J.; Roh, H. y Kim, S. 2002. Preparation and physical properties of zein-coated high-amylose corn starch film. *Food Science and Technology* 35:680-686
50. Schouten, R.E.; Veltman, R.H.; De Wild, H.P.J.; Koopen, T.J.; Staal, M.G.; Tijskens, L.M.M. Determination of O₂ y CO₂ permeance, internal respiration and fermentation for a batch of pears (cv. Conference). *Postharvest Biology and Technology*, Netherlands, v.32, pag.289-298, 2004.
51. Shahidi F., Arthur M. Spanier, T. H. Parliament. Food flavors and chemistry: advances of the new millennium Edition: *Royal Society of Chemistry*, 2001

52. Shamekin, S.; Myllärihen, P.; Poutanen, K. y Forssell, P. 2002. Film formation properties of potato starch hydrolysates. *Starch/Stärke* 54:20-24
53. Smits, A.; Kruiskamp, P.; Van Soes, J. y Vliegenthart, J. 2003. The influence of various small plasticisers and malto-oligosaccharides on the retrogradation of (partly) gelatinized starch. *Carbohydrate Polymer* 51:417-424.
54. Tangpasuthadol, V.; Pongchaisirikul, N. y Hoven, V. 2003. Surface modification of chitosan films. Effects of hydrophobicity on protein. *Carbohydrate Research* 338:937-942
55. Tharanathan, R. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Critical Review in Food Science and Technology* 14:71-78
56. Tolstoguzov, V.B, Hill S. E., Ledward D. A., and Mitchell J. R. 1998. Functional Properties of Food Macromolecules. *Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland*. pp. 253–277.
57. Tomás.S.A, Orea.Cruz.A., Stolik.S., Islas.Pedroza. R., Zavala Villagómez. D. L., and Corona.Gómez.C. 2004. Determination of the Thermal Diffusivity of Edible Films. *International Journal of Thermophysics, Vol. 25, No. 2, March 2004*
58. Wang, C.Y. 1982. Pear fruit maturity, harvesting, storage and ripening. p. 431–443. *In* T. van der Zwet and Childers, N.F. (eds.). *The pears: cultivars to marketing*. Horticultural Publications, Gainesville, Florida, USA.
59. Wang, Y.; Rakotonirainy, M. y Papua, W. 2003. Thermal behavior of Zeínabase biodegradable films. *Starch/Stärke* 55:25-29
60. Xu, Y.; Kim, K.; Hanna, M. y Nag, D. 2005. Chitosan–starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products* 21(2):185-192

61. Yang , L.; Paulson, A.T., 2000. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. *Food Res. Int.* 33: 571-578.
62. Zoffoli, J.P., D. Richardson, y P. Chen. 1995. Principales antecedentes orientados al manejo integrado del desorden fisiológico escaldadura de manzanas y peras. *Revista Frutícola* 16:89-95.

11. Anexos.

Anexo1.

Tabla 2. Diseño de experimentos.

Número de corridas	Glicerol (%)	pH	PSL (%)	Gelana (%)
1	1	4	0.5	0.5
2	5	4	0.5	0.5
3	1	7	0.5	0.5
4	5	7	0.5	0.5
5	1	5.5	0.25	0.75
6	5	5.5	0.25	0.75
7	1	5.5	0.75	0.25
8	5	5.5	0.75	0.25
9	3	4	0.25	0.75
10	3	7	0.25	0.75
11	3	4	0.75	0.25
12	3	7	0.75	0.25
13	3	5.5	0.5	0.5
14	3	5.5	0.5	0.5
15	3	5.5	0.5	0.5

Anexo 2.

Tabla 3. Coeficientes de difusión a vapor de agua.

NÚMERO DE CORRIDAS	GLICEROL (%)	PH	PSL (%)	GELANA (%)	COEFICIENTE DE DIFUSIÓN X 10 ⁻⁸ [CM ² /S]
1	1	4	0.5	0.5	1.81
2	5	4	0.5	0.5	3.17
3	1	7	0.5	0.5	1.991
4	5	7	0.5	0.5	2.013
5	1	5.5	0.25	0.75	2.416
6	5	5.5	0.25	0.75	10.45
7	1	5.5	0.75	0.25	1.27
8	5	5.5	0.75	0.25	1.524
9	3	4	0.25	0.75	3.56
10	3	7	0.25	0.75	1.361
11	3	4	0.75	0.25	9.065
12	3	7	0.75	0.25	2.027
13	3	5.5	0.5	0.5	4.68
14	3	5.5	0.5	0.5	1.939
15	3	5.5	0.5	0.5	3.895