

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



TESIS

**CARACTERIZACIÓN OPTICA, PORCIENTO DE HUMEDAD,
SOLUBILIDAD Y PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA DE
PELÍCULAS COMESTIBLES COMPUESTAS A BASE DE ALGINATO-
GOMA GUAR**

POR

MODESTA HERRERA SILVA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. MARZO 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

CARACTERIZACIÓN OPTICA, PORCIENTO DE HUMEDAD,
SOLUBILIDAD Y PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA DE
PELÍCULAS COMESTIBLES COMPUESTAS A BASE DE ALGINATO-
GOMA GUAR

POR:

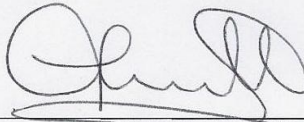
MODESTA HERRERA SILVA

TESIS

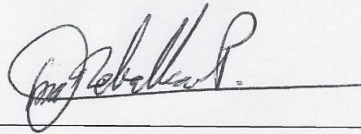
Que ha sido aprobada como requisito para obtener el título de:

INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

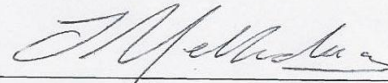
El presente trabajo ha sido asesorado y aceptado de acuerdo al artículo 89 del
Reglamento de Académico para alumnos de licenciatura por el consiguiente
comité:



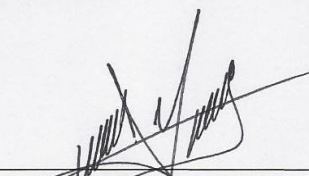
M.C. Xochitl Ruelas Chacón
Asesor principal



M.C. Oscar N. Reboloso Padilla
Asesor



Dr. Jesús A. Mellado Bosque
Asesor

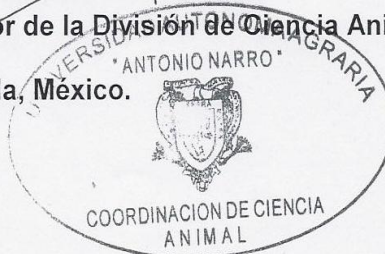


Dr. José Duñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Marzo 2015



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

“Caracterización óptica, porcentaje de humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua de películas comestibles compuestas a base de alginato-goma guar”

POR:

MODESTA HERRERA SILVA

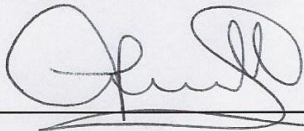
TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial para obtener el Título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

De acuerdo al artículo 90 del Reglamento para Alumnos de Licenciatura:

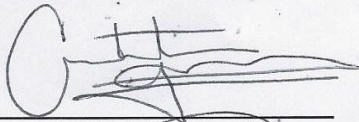
M.C. Xochitl Ruelas Chacón
Presidente



Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque
Vocal



Dr. Antonio Francisco Aguilera Carbó
Vocal



Dr. Heliodoro de la Garza Toledo
Vocal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México,

Marzo de 2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado el maravilloso don de la vida, por permitirme ver el comienzo de un nuevo día y respirar el aire fresco de la mañana, por darme tu amor, consuelo, sabiduría, entendimiento y esperanza, las cuales hicieron de mí una persona firme llena de sueños y por tu inmensa paciencia hacia mí, porque siempre caminaste conmigo y no me abandonaste en los momentos de soledad, tristeza y alegría.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro mi “Alma Terra Mater”, Por abrirme las puertas de tu casa y permitirme ser un ingeniero, pero principalmente por haber vivido una de mis mejores etapas en mi vida, esos momentos inolvidables que hacen que seas mi segunda casa y siempre lleve en mi corazón a mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

A todos mis maestros, por su gran paciencia que tuvieron al brindarme su enseñanza.

DEDICATORIAS

A mi familia: a mi madre, hermanos, sobrinos y cuñadas por brindarme su apoyo incondicional y tener fe en mí.

A mis amigos por compartir momentos de tristeza y felicidad, por abrirme las puertas de su corazón, escucharme en los momentos que lo necesite y brindarme su valiosa amistad.

INDICE GENERAL

Contenido	Página (s)
AGRADECIMIENTOS	1
DEDICATORIAS	2
INDICE DE CUADRO	5
INDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Justificación	10
1.2. Objetivos	11
1.2.1. Objetivo general.....	11
1.2.2. Objetivos específicos.....	11
1.3 Hipótesis.....	12
CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1. Problemática por consumo de frutos frescos.....	13
2.2. Problemática del envasado.....	15
2.3. Alternativas de barreras y materiales para ampliar la vida útil.....	16
2.4. Recubrimientos comestibles	17
2.5. Antecedentes del uso de recubrimientos.....	20
2.6. Componentes usados para la formulación de las películas.....	21
2.6.1. Lípidos.....	21
2.6.2. Mezclas o sistemas multicomponentes	22
2.6.3. Hidrocoloides.....	22
2.6.4. Polisacáridos.....	22
2.6.5. Proteínas.....	23
2.7. Consideraciones importantes en la elaboración de recubrimientos emulsificados..	26
2.7.1. Estructurales	26
2.7.2. Fracción Volumétrica de la Fase dispersa	26
2.7.3. Distribución del Tamaño de Partícula.....	27
2.7.4. Otros Ingredientes en la Formulación.....	27
2.7.5. Estabilidad de la Emulsión.....	28

2.7.6. Mecanismos de Difusión en las Películas.....	28
2.8. Técnicas de aplicación de recubrimiento.....	28
2.9. Permeabilidad al vapor de agua (PVA).....	29
2.10. Función de películas y recubrimientos comestibles.....	30
2.11. Generalidades de alginato	33
2.12. Características fisicoquímicas	41
2.12.1. Estructura química	41
2.13. Generalidades de la goma guar.....	42
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
3.1. Material utilizado	45
3.2. Equipo utilizado.....	45
3.3. Reactivos	45
3.4. Métodos.....	46
3.4.1. Preparación del alginato.....	46
3.4.2. Preparación de la goma guar	46
3.4.3. Combinación de alginato y goma guar para obtener las formulaciones del recubrimiento comestible	47
3.4.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos.....	48
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1. Análisis de color.....	52
4.1.1. Luminosidad.....	52
4.1.2. Cromaticidad a* (+rojo-verde)	53
4.1.3. Cromaticidad b*(+amarillo-azul).....	53
4.2. Grosor.....	54
4.3. Opacidad.....	55
4.4. Solubilidad	57
4.5. Humedad.....	58
4.6. Permeabilidad	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN.....	61
CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA.....	62
CAPITULO VII. ANEXOS.....	67

INDICE DE CUADROS

Cuadro1. Características de los principales polisacáridos utilizados en la formulación de los recubrimientos.	23
Cuadro 2. Características de las principales proteínas y lípidos utilizados en la formulación de los recubrimientos.....	25
Cuadro 3. Aplicaciones de las películas comestibles	32
Cuadro 4. Propiedades funcionales y usos industriales de alginato.....	37
Cuadro 5. Porcentaje de alginato de sodio y goma guar	47

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Extracción de alginato.....	40
Figura 2. Alginato	41
Figura 3. Goma guar	43
Figura 4. Preparación de alginato.....	46
Figura 5. Preparación de la goma guar	47
Figura 6. Micrómetro Mitutoyo.....	48
Figura 7. Determinación del grosor	48
Figura 8. Determinación de porcentaje de opacidad	49
Figura 9. Filtrado.....	50
Figura 10. Secado de los conos.....	50
Figura 11. Determinación de permeabilidad	51
Figura 12. Comportamiento del eje "b" de la variable color.....	54
Figura 13. Comportamiento de la variable grosor	55
Figura 14. Comportamiento de las medias de la variable opacidad	56
Figura 15. Grafica de solubilidad	57
Figura 16. Grafica de % de humedad	58
Figura 17. Grafico del comportamiento de los tres diferentes porcentajes (100%, 85% y 75% HR) que se manejaron en esta variable	60

RESUMEN

Los retos técnicos involucrados en producir alimentos y conservarlos con calidad estable, indican el creciente interés por el desarrollo de este tipo de recubrimientos y películas para incrementar la conservación de alimentos será mayor de lo que actualmente es. Actualmente los recubrimientos comestibles se elaboran a partir de variedades de polisacáridos, proteínas, ceras naturales y resinas, entre otros. Por lo tanto se requiere de estudios básicos para diseñar las propiedades funcionales de los recubrimientos comestibles.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la influencia de un recubrimiento comestible compuesto por dos productos naturales como ingredientes principales: alginato y goma guar, adicionando estos en diferentes concentraciones, para determinar sus propiedades funcionales en la permeabilidad al vapor de agua, color, transmitancia, grosor y solubilidad, se realizó el presente estudio en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Se partió de dos soluciones una de alginato de sodio al 2% y la otra de goma guar al 1%. Estas se disolvió en agua destilada a 500 (rpm), tras un tratamiento térmico de 70 y 40°C adicionándole a cada una glicerol al 10%. Enseguida se mezclaron entre sí las 6 diferentes porciones de goma guar (GG) y alginato de sodio (Alg) (recubrimientos compuestos, %, A: 0-100 B: 10-90, C: 20-80, D: 30-70, E: 40-60, F: 50-50) para obtener los diferentes recubrimientos. Obtenidos los recubrimientos se determinaron sus propiedades fisicoquímicas: color, el cual se determinó con un colorímetro Minolta CR 400, el grosor, con un micrómetro Mitutoyo, la opacidad se siguió el método BS, solubilidad se determinó mediante una ecuación y la permeabilidad siguiendo el método de Talja. Por lo que se pudo concluir que al analizar el estudio de las propiedades fisicoquímicas de los recubrimientos comestibles formulados con biopolímeros de alginato y goma guar, demuestran que los valores obtenidos de estos dos parámetros aumentan, al aumentar la concentración alginato-goma guar, por lo que existe una relación directamente proporcional.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se han desarrollado técnicas de conservación de frutas y hortalizas que permiten prolongar su vida de anaquel, manteniendo sus características físicas, químicas y nutricionales lo más parecidas al estado fresco, ya que actualmente, los consumidores están más interesados en ese tipo de productos que en los altamente procesados o adicionados con conservadores (Ruiz, 2009).

Recientemente, se ha puesto un especial interés en el potencial de polímeros naturales, tales como polisacáridos y proteínas para la producción de empaques para alimentos (Ruiz, 2009).

El creciente interés por el desarrollo de películas y cubiertas 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 (Aguilar, 2005).

Según la Food and Drug Administration (FDA) de EEUU (FDA, 2006), los recubrimientos comestibles son aquellos formados a partir de formulaciones que contengan aditivos permitidos para su uso alimentario.

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

Existen diversos materiales que se han empleado para la fabricación de películas comestibles, entre ellos destacan los alginatos y la goma guar.

Cabe señalar que en México se dispone de diferentes materiales naturales que ofrecen nuevas oportunidades para el desarrollo de cubiertas y películas (Bósquez, 2002).

1.1 Justificación

Los hábitos alimentarios permiten explicar la transformación vertiginosa de la industria alimentaria y la rapidez con que ésta se incorpora a los procesos de innovaciones en la tecnología de empaques de productos alimenticios, por lo que ahora las coberturas comestibles están siendo consideradas una estrategia para reducir los efectos perjudiciales que infringe el proceso mínimo sobre tejidos vegetales y animales, ya que estas son formuladas con productos extraídos naturalmente. Un tema que gira inevitablemente en torno a estas industrias.

Investigadores concuerdan en señalar que el interés en el desarrollo y uso de empaques, a base de biomateriales es conveniente para consumir y para el medio ambiente, por otro lado, existe la necesidad de contribuir con tecnologías baratas que puedan ser aplicadas en el campo mexicano.

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.

Cabe destacar que la combinación de recubrimiento a base de alginato y goma guar se realizó para comprobar su permeable al vapor de agua, solubilidad, color, grosor y absorbancia.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar y caracterizar películas comestible a base de alginato y goma guar.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Desarrollar formulaciones con alginato de sodio y goma guar a diversos porcentajes (100-0, 90-10, 80-20, 70-30, 60-40 y 50-50) y con 10% de plastificante.
2. Caracterizar las películas desarrolladas de alginato y goma guar de acuerdo:
 - a. Factores de cromaticidad (L^* , a^* y b^*)
 - b. Grosor
 - c. Por ciento de solubilidad
 - d. Por ciento de humedad
 - e. Opacidad
 - f. Permeabilidad al vapor de agua a 75, 85 y 100 % humedad relativa.

1.3 Hipótesis

Las películas comestibles formuladas con biopolímeros de alginato y goma guar, generan emulsiones estables y homogéneas, que permiten obtener una película con una estructura adecuada para funcionar como barreras física al vapor de agua.

PALABRAS CLAVE: recubrimiento, alginato, goma guar, permeabilidad.

Correo electrónico: Modesta Herrera Silva mode.herrera@gmail.com

CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Problemática por consumo de frutos frescos

Los hábitos alimentarios se han modificado en los últimos años, con el ánimo de satisfacer las necesidades del consumidor. En este sentido la fruta fresca como postre se ha cambiado por yogur, flan, gelatina, torta y helado. Sin embargo, el consumidor busca productos que le ofrezcan un incremento en la nutrición, como vitaminas, energía, fibra de origen natural, por lo que hoy (Giraldo, 2006.), las tendencias actuales de la industria alimentaria van encaminadas hacia la obtención de alimentos más sanos y seguros (Vargas *et al.*, 2007), productos que resulten atractivos y a la vez cómodos para el consumo (Giraldo, 2006), de acuerdo con los principios de sostenibilidad y respeto al medio ambiente (Vargas *et al.*, 2007).

Actualmente los consumidores exigen alimentos preservados que sean lo más parecido posible a los frescos y de larga duración (Famá *et al.*, 2004). Debido a estas demandas se han realizado innovaciones en la tecnología de empaques de productos alimenticios por lo que ahora las coberturas comestibles están siendo consideradas una estrategia para reducir los efectos perjudiciales que infringe el proceso mínimo sobre tejidos vegetales y animales (Arias *et al.*, 2007),

Diversas técnicas de almacenamiento se han desarrollado para extender la vida útil de los productos hortícolas por periodos largos debido a la comercialización a grandes distancias y para mantenerlos frescos después de la cosecha (Guillén *et al.*, 2010).

La conservación de frutas en envases con atmósferas modificadas se presenta como una tecnología muy importante en la reducción de pérdidas y en el mantenimiento de la calidad. Las bajas temperaturas, las altas humedades relativas, la baja concentración de O₂ y la alta concentración de CO₂, son factores que reducen la respiración de la fruta y los cambios fisiológicos como la oxidación, ayudando a prolongar su vida de almacenamiento (Girald, 2006).

Uno de los factores de conservación en plena investigación, es el de las películas comestibles. Pueden usarse como soporte de agentes antimicrobianos, antioxidantes o nutrientes tales como vitaminas y minerales, como portadoras de otros aditivos o para enlentecer la migración de humedad y lípidos o el transporte de gases y solutos. Ellas deben poseer propiedades mecánicas que garanticen la adecuada adhesividad a los alimentos y manipuleo de ellos sin deterioro de las mismas y, además, deben ser totalmente neutras con respecto al color, tacto y olor del alimento (Famá *et al.*, 2004).

En éste rubro el uso de películas comestibles se está desarrollando de manera rápida ya que en su formulación se utilizan compuestos comestibles tales como proteínas, polisacáridos, lípidos y/o resinas, además de otros componentes comestibles derivados de fuentes renovables (Guillén *et al.*, 2010).

El creciente interés por el desarrollo de películas y cubiertas 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 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 (Bosquez, 2002).

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 (Bosquez, 2002).

2.2. Problemática del envasado

El envasado es una etapa muy importante en el procesado de alimentos, ya que la elección del material correcto es fundamental para contribuir a la preservación de la calidad del producto. El envase debe protegerlo de posibles daños microbiológicos y de cambios en sus atributos sensoriales, también funciona como contenedor (Perzanes M. 2004).

En la actualidad, debido al crecimiento de la producción sustentable se busca que los materiales con los que se fabrican los envases tengan el menor impacto posible sobre el medio ambiente. Como respuesta a esta necesidad surgieron los materiales biodegradables, una alternativa válida a la utilización de los plásticos tradicionales que se obtienen a partir del petróleo (un recurso natural no renovable) y que requieren de un tiempo de 200 años aproximadamente para ser asimilados nuevamente por la naturaleza (Perzanes M. 2004)

Se conocen como plásticos biodegradables a aquellos materiales que cuando son expuestos a condiciones determinadas de humedad, flora microbiana y oxígeno durante un tiempo de varios meses, son transformados en sustancias sencillas (principalmente agua y dióxido de carbono (CO_2) y biomasa mediante la acción enzimática de los microorganismos (bacterias, hongos y otros) presentes en el medio ambiente. Las unidades estructurales de los plásticos de este tipo se denominan polímeros biodegradables y se obtienen principalmente de materias primas renovables de origen animal, vegetal o microbiano. Dichos materiales biodegradables se utilizan actualmente en diversos sectores (medicina, agricultura, alimentación, envases y embalaje, entre otros) teniendo en cuenta las características funcionales que debe presentar el material según la aplicación específica a la que se destine (Perzanes M. 2004).

Recientemente, se ha puesto un especial interés en el potencial de polímeros naturales, tales como polisacáridos y proteínas para la producción de empaques para alimentos (Ruiz, 2009).

En el área de los alimentos estos polímeros se aplican en la fabricación de empaques biodegradables (mono y multicapa), empaques activos, Películas Comestibles (PC) y Recubrimientos Comestibles (RC) sobre frutas, carnes, pescados y otros alimentos, como también en el procesado de alimentos para la obtención de estabilizantes y gelificantes. Entre estas aplicaciones se destaca la tecnología de PC y RC ya que cumple con las exigencias de los consumidores actuales: productos saludables, mínimamente procesados, sin agregado de agentes químicos, y de producción sustentable. Siendo por lo tanto una de las alternativas con más futuro en el campo del envasado y conservación de alimentos (Perzanes M. 2004).

Las películas y recubrimientos comestibles y biodegradables representan una alternativa de empaque sin costos ambientales y sin efectos adversos sobre la salud (Vuarant, 2010).

2.3. Alternativas de barreras y materiales para ampliar la vida útil

Las barreras artificiales ayudan a extender la corta vida útil de las carnes y alimentos en general. Una de las alternativas que se usan como barrera son las películas o recubrimientos comestibles, que se usan para complementar u suplir la refrigeración de las carnes y lograr una mejoría al tiempo de conservación (Alfonso, 2011).

Por otra parte, algunos materiales estudiados en los últimos años, tienen un alto potencial en la industria porque a la vez son películas comestibles y sirven como aditivos de los alimentos que cubren, funcionando como antioxidantes, antimicrobianos, saborizantes y colorantes. Los métodos de aplicación varían desde la aplicación directa, hasta la incorporación de los agentes antimicrobianos en la película comestible. Las propiedades antimicrobianas se ven reducidas con el tiempo de la superficie del alimento, no obstante, logra mantenerse alta la concentración antimicrobiana por periodos largos de tiempo (Alfonso, 2011).

Las películas y recubrimientos comestibles ofrecen ventajas como las propiedades barrera, biocompatibilidad y mejor apariencia estética. En adición

este tipo de materiales son afectados por parámetros como la formulación, la tecnología de formación de la película, las características del solvente y los aditivos (Alfonso, 2011).

Los almidones son hidrocoloides comúnmente utilizados para la formulación de estas películas (Famá *et al.*, 2004).

2.4. Recubrimientos comestibles

Según la Food and Drug Administration (FDA) de EEUU (FDA, 2006), los recubrimientos comestibles son aquellos formados a partir de formulaciones que contengan aditivos permitidos para su uso alimentario.

Un recubrimiento comestible se define como una capa delgada de material que puede ser ingerida por el consumidor, éste puede aplicarse sobre o entre los alimentos por inmersión, cepillado, rociado o enrollado, al igual que los empaques, también puede funcionar como una barrera selectiva contra la transmisión de gases tales como el CO₂ y el O₂, vapores y solutos, además de proporcionar integridad mecánica y manejo de los alimentos así como servir como vehículo para la liberación de sabores, nutrientes y agentes antimicrobianos (Gillen *et al.*, 2010).

Un envase en forma de película o revestimiento se califica como comestible cuando forma parte integrante del alimento y se consume como tal. A causa de esta doble función, envase y constituyente del alimento; las películas y revestimientos comestibles ofrecen numerosas ventajas (Trejo *et al.*, 2007).

Se utilizan para mantener la calidad y extender la vida de anaquel de productos frescos y mínimamente procesados. Existen diversos materiales que se han empleado para la fabricación de películas comestibles, entre ellos destacan los alginatos, que son polisacáridos con carga negativa que poseen buenas características para formar películas y revestimientos. La funcionalidad de las películas depende en gran medida de las características estructurales y químicas de los biopolímeros empleados (Arzate *et al.*, 2010).

Los términos Recubrimientos Comestibles y Películas Comestibles se utilizan indistintamente para referirse a la aplicación de matrices transparentes y comestibles sobre las superficies de los alimentos, con el fin de servir de empaque y de preservar su calidad (Perzanes M. 2004). Técnicamente, se habla de recubrimiento cuando una solución aplicada sobre un producto forma una película superficial al secarse, mientras que una película se forma con anterioridad y posteriormente se aplica sobre el producto (Pastor, 2010). Sin embargo ambos se distinguen por el modo en que son obtenidos y aplicados sobre el producto. Un RC es una matriz fina y continua que se dispone sobre la superficie del alimento mediante la inmersión o aplicación de un spray de la solución filmogénica formulada. Por otra parte las PC son matrices preformadas, obtenidas por moldeo, cuyo espesor es siempre mayor al de los RC. Estas son aplicadas sobre la superficie o como separador de los distintos componentes de un alimento, luego de ser producidas (Perzanes M. 2004).

La investigación orientada al desarrollo de películas y recubrimientos comestibles ha sido intensa en los últimos años debido a los retos de carácter técnico que involucra el desarrollo de películas funcionales. Los recubrimientos comestibles tienen la característica de estar elaborados con materiales naturales como proteínas, lípidos y polisacáridos. Dependiendo de su composición, las propiedades funcionales de las películas o recubrimientos finales varía, por lo que el conocimiento de la forma en que cada componente interactúa física y/o químicamente, ofrece la posibilidad de diseñar películas o recubrimientos con características estructurales y de barrera específicas para su aplicación en alimentos (Bosquez *et al.*, 2005).

El empleo de películas y recubrimientos comestibles biodegradables es una técnica ampliamente utilizada, fundamentalmente en el campo hortícola para evitar el deterioro del fruto, para alargar su vida útil con las mejores condiciones de calidad y mantener a su vez un aspecto fresco y agradable, esto es posible controlando tanto la respiración como la transpiración de los frutos (Guillén *et al.*, 2010).

Las películas y recubrimientos comestibles biodegradables representan una alternativa de empaque sin costos ambientales y sin efectos adversos sobre la salud (Vuarant, 2010).

Esta situación ha repercutido directamente en el panorama actual de los insumos de aplicación a la agricultura y alimentación en el que se está priorizando la reducción y búsqueda de alternativas más naturales a los químicos de síntesis habitualmente aplicados. En este sentido, la tecnología de los recubrimientos comestibles surge como una alternativa prometedora para la mejora de la calidad y conservación de alimentos durante su procesado y/o almacenamiento. Se trata de recubrimientos “inteligentes” puesto que son activos y selectivos con un uso potencial prácticamente infinito. Las materias primas empleadas en su formulación son de origen natural (gomas, proteínas animales o vegetales y lípidos) y son perfectamente biodegradables y por tanto seguros para el entorno. El campo de aplicación de estos compuestos naturales se extiende tanto a vegetales como a productos cárnicos o pescados, ofreciendo una alternativa a los químicos de síntesis comúnmente utilizados para su conservación y acorde con las nuevas tendencias alimentarias (Sánchez *et al.*, 2008).

El carácter comestible, la degradación y el aumento de la seguridad alimentaria son los tres principales beneficios de las películas comestibles alternamente funcionales (Vuarant, 2010).

A pesar de esto ambos funcionan de igual manera como barrera frente a las distintas sustancias que interactúan con el alimento (O_2 , CO_2 , vapor de agua, lípidos, sales, minerales, etc.) durante su almacenamiento y comercialización. Es por esto que la característica más importante e innovadora de los RC y PC es su capacidad de servir al mismo tiempo de empaque y de tratamiento para la conservación del alimento (Perzanes M. 2004).

La evaluación de las propiedades mecánicas en películas flexibles es importante debido a que la aplicación de una película en la superficie de un alimento requiere de cierto grado de integridad estructural (Arias *et al.*, 2007).

Es posible mejorar las propiedades mecánicas de estas formulaciones mediante la adición de plastificantes, dado que estos compuestos debilitan las interacciones moleculares del biopolímero incrementando su flexibilidad y favoreciendo la formación de una red estructural más homogénea lo que a su vez permite una mejor distribución de las sustancias hidrofóbicas. Sin embargo es de gran interés determinar el efecto del tipo y concentración del plastificante en la formulación ya que al modificarse las fuerzas moleculares en la matriz estructural también se puede afectar significativamente su funcionalidad de barrera a la transferencia de masa (Bosquez *et al.*, 2005).

2.5. Antecedentes del uso de recubrimientos

El uso de recubrimientos para frutas y hortalizas es una práctica antigua que se desarrolló para imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales comestibles. Existen reportes que datan de los siglos XII y XIII en los que se menciona que en China se realizaba la inmersión en cera de naranjas y limas para retardar la pérdida de agua. Durante el S. XVI se practicaba en Inglaterra el “enmantecado”, esto es, el recubrimiento con grasa de productos alimentarios para prevenir también la pérdida de humedad de éstos (Bósquez, 2003). La conservación de carnes y otros productos con recubrimientos hechos a base de películas de gelatinas fueron propuestos por Harvard y Harmony (1869) y por Morris y Parker (1895). En los años 30’s las parafinas para derretir en caliente llegaron a estar disponibles comercialmente para recubrir frutos cítricos con el objetivo de retardar la pérdida de humedad y a principios de los años 50’s fueron desarrolladas emulsiones aceites en de la cera carnauba para recubrir frutos y vegetales frescos (Hernández, 2009). De mediados de los 50’s a mediados de los 80’s se realizó bastante trabajo orientado al uso de películas y recubrimientos para extender la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados, el cual se ha reportado tanto en la literatura científica como de patente. Desafortunadamente, la mayor parte de este trabajo es de valor limitado

debido a la carencia de datos cuantitativos de las características de barrera de los recubrimientos. Se ha reportado que las ceras fueron las primeras cubiertas comestibles empleadas en frutas y en los años 1930s se disponía comercialmente de ceras de parafina derretidas en caliente para su aplicación como recubrimiento de manzanas y peras. En años recientes, se ha reportado que es posible conseguir efectos similares de barrera al vapor de agua y gases en productos tropicales utilizando diferentes mezclas de aceites, ceras y celulosa (Bósquez, 2003).

2.6. Componentes usados para la formulación de las películas

Krochta *et al* (1994) clasifican a los componentes de las películas alimenticias en tres categorías: lípidos, hidrocoloides y mezclas. Los hidrocoloides incluyen proteínas, derivados de celulosa, alginatos, pectinas, almidones y otros polisacáridos. Mencionan también que los lípidos incluyen a las ceras, acilgliseroles 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.

2.6.1. Lípidos

Formados por compuestos hidrofóbicos y no poliméricos con buenas propiedades barrera al vapor de agua y a los gases, pero con poca capacidad para formar recubrimientos. Reducen la transpiración, la deshidratación, la abrasión en la manipulación posterior (Hernández, 1994) y pueden mejorar el brillo. Sin embargo, los recubrimientos basados en lípidos presentan una superficie grasienta y propiedades organolépticas no deseadas como un sabor a cera y cierta rancidez (Pastor, 2010).

El recubrimiento con grasa de algunos productos tiene una larga historia en la industria de los alimentos. Una variedad de componentes lipídicos se ha utilizado como cubiertas protectoras, incluyendo las ceras naturales y surfactantes. Debido a la baja polaridad de estas películas la función principal es la de barrera contra el paso de humedad. Las ceras, los lípidos incluyendo, la lecitina, ceras de abejas y glicéridos son sumamente usados para el recubrimiento de frutas, pero antes de

ser consideradas como películas se consideran como simples cubiertas. Las grasas también son utilizadas para recubrir confitería, pero una de las ventajas es que puede ocurrir rancidez o la superficie se puede poner grasosa (Hernandez, 2004).

2.6.2. Mezclas o sistemas multicomponentes

Las películas comestibles deben ser heterogéneas por naturaleza. Se pueden hacer mezclas de polisacáridos, proteínas y/o lípidos. Al mezclar los componentes se tiene la habilidad de utilizar las distintas características funcionales para cada clase de formación de la película. Gilbert (1986) define los sistemas multicomponentes como: dos o más componentes que se mezclan con el propósito de complementarse y aumentar su capacidad. Las combinaciones que se hicieron primero, fueron de materiales altamente poliméricos, ejemplos: almidones con alginatos, gomas con almidón y pectinas con gelatinas (Hernandez, 2004).

2.6.3. Hidrocoloides

Estas películas poseen buenas propiedades de barrera para el oxígeno, dióxido de carbono y lípidos. Son utilizadas donde el control de la migración de vapor de agua no es el objetivo. La mayoría de estas películas tienen propiedades mecánicas deseables para trabajar con productos frágiles, no aportan sabor y son sensibles al calentamiento. Los hidrocoloides usados para películas pueden ser clasificados de acuerdo a su composición molecular, carga molecular y solubilidad en agua (Hernandez, 2004).

2.6.4. Polisacáridos

Estas películas tienen propiedades como barreras a los gases y puede adherirse a superficies de frutas y vegetales. La desventaja al utilizar este tipo de películas es las propiedades de barrera a la humedad son muy bajas debido a la naturaleza hidrofílica de las mismas. Se han elaborado películas a partir de celulosa, pectina, almidón, alginatos, quitosano, carragenina, gomas y mezclas (cuadro 1). Estas películas la mayoría de las veces son fuertes, de color claro, resistentes relativamente al paso del agua, no se ven afectadas por aceites, grasa o solventes orgánicos no polares (Hernandez, 2004).

Cuadro1. Características de los principales polisacáridos utilizados en la formulación de los recubrimientos.

TIPO	Compuesto	Permeabilidad al vapor de agua/gases	NP	Otros
Polisacáridos	MC, CMC, HPC, HPMC	Baja/alta	Si	Grasa flexibles
	Dextrina	Alta/moderada	-	Secado lento
	Alginato	Baja/moderada	Si	Frágil
	Quitosano	Moderada /alta	No	Grasa antimicrobiana
	Pectina	Baja/alta	-	Grasa
	Carragenato	Baja/moderada	-	Frágil
	Goma arábica	Baja/moderada	-	Buena adhesión
	Goma guar	Baja/moderada	-	Firmeza
	Goma xantana	Baja/moderada	-	Buena adhesión

Fuente: Adaptado de Pastor., 2010

2.6.5. Proteínas

Las proteínas utilizadas en la formulación de recubrimientos comestibles pueden ser de origen animal (caseínas y proteínas del suero lácteo) o de origen vegetal (zeína de maíz, gluten de trigo, y proteína de soya, principalmente) y dependiendo de este origen muestran una amplia variedad de características moleculares (cuadro 2). Así, las proteínas varían en su peso molecular, conformación, carga (dependiendo del pH), flexibilidad y estabilidad térmica y las diferencias en estas características moleculares determinarán su habilidad para formar recubrimientos así como las características de los recubrimientos formados (Pastor, 2010).

Tanto las proteínas como los polisacáridos son materiales hidrofílicos que interactúan con el agua afectando sus propiedades mecánicas y de barrera. Estas interacciones generalmente tienen un efecto plastificante que ocasiona un incremento en la permeabilidad al vapor de agua (Arias *et al.*, 2007).

Cuadro 2. Características de las principales proteínas y lípidos utilizados en la formulación de los recubrimientos

TIPO	Compuesto	Permeabilidad al vapor de agua/gases	NP	Otros
Proteína	Zeína	Baja/alta	Si	Grasa
	Gluten	Dependiendo del pH y del disolvente/alta	Si	Frágil
	Proteína de soya	Baja/baja	-	Flexible
	Proteína de suero lácteo	Moderada /alta	Si	Flexible
	Caseína	Moderada/baja	-	Frágil
	Colágeno	Baja/alta	-	Duro
	Gelatina	Alta/alta	-	Flexible y fuerte
Lípidos	Cera de abeja	Alta/baja	Si	Grasa
	Cera candelilla	Alta/baja	Si	Grasa
	Cera carnauba	Alta/baja	Si	Grasa
	Acidos grasos	Según tipo/baja	-	Grasa

Fuente: Adaptado de Pastor C., 2010

2.7. Consideraciones importantes en la elaboración de recubrimientos emulsificados

2.7.1. Estructurales

Los biopolímeros naturales de alto peso molecular son los responsables de proporcionar una matriz macromolecular con resistencia cohesiva la que a su vez depende de la estructura química del polímero, masa molecular, geometría y distribución espacial de sus grupos funcionales. Los tipos de macromoléculas que se emplean para este propósito son hidrocoloides (proteínas y polisacáridos) los cuales debido a su naturaleza hidrofílica, son muy sensibles al agua. La función del hidrocoloide en las emulsiones es la de formar una cadena o red en donde puedan estar dispersas las moléculas hidrofóbicas. Un polímero de cadena lineal poco compacto forma un recubrimiento de baja funcionalidad, mientras que un polímero con elevado número de ramificaciones incrementa el nivel de cohesividad de las películas a medida que aumenta su concentración en la dispersión. Este efecto repercute en la funcionalidad de las películas terminadas al inducir la formación de estructuras resistentes (Bosquez, 2002).

2.7.2. Fracción Volumétrica de la Fase dispersa

La concentración de las gotas o partículas en una emulsión está dada por la fracción volumétrica de la fase dispersa (ϕ), que equivale al cociente del volumen de las gotas de la emulsión (VD) entre el volumen total de la emulsión (VE). El conocimiento del valor de ϕ es muy importante ya que la concentración de las gotas o partículas tiene una influencia determinante en la apariencia, textura, estabilidad y costos de los productos elaborados por emulsificación. En el caso particular de las formulaciones desarrolladas para la obtención de recubrimientos o películas comestibles, la homogeneidad de la distribución y el tamaño de las partículas hidrofóbicas dispersas se reflejará en las propiedades de barrera finales como la permeabilidad al vapor de agua y gases (Bosquez, 2002).

2.7.3. Distribución del Tamaño de Partícula

El tamaño de las partículas (glóbulos) que contiene una emulsión determina muchas de sus propiedades más importantes, por lo cual se requiere de un control confiable que permita medir y predecir el comportamiento de las partículas. Esta caracterización de las emulsiones es esencial ya que la mayoría de los tipos de inestabilidad usualmente se manifiestan primero en el comportamiento de las gotas grandes. En las películas y recubrimientos comestibles obtenidos por emulsificación, la transferencia de masa ocurre a través de la matriz estructural, la cual constituye la fase continua en la emulsión, así que el material permeante (gases o vapor de agua) seguirá una trayectoria que estará determinada por el tamaño y la forma en que se encuentren dispersadas las partículas hidrofóbicas en el sistema (Bosquez, 2002).

2.7.4. Otros Ingredientes en la Formulación

Ciertos componentes se adicionan, en menores cantidades, a las formulaciones de los recubrimientos para modificar las propiedades mecánicas; a estos compuestos se les clasifica como plastificantes y/o emulsificantes (Bosquez, 2002).

Los compuestos lipofílicos se usan frecuentemente para ambos propósitos, e incluso pueden emplearse como el principal ingrediente formador de la película. Los plastificantes incrementan la flexibilidad de la cubierta, mejorando la dureza al disminuir la formación de escamas y grietas. A nivel molecular, estos compuestos debilitan las fuerzas intermoleculares entre las cadenas adyacentes del polímero. Los plastificantes lipídicos más comúnmente empleados incluyen aceites, lecitina, ceras, ácidos grasos y derivados (Bosquez, 2002).

Cualquiera que sea el propósito del aditivo, es importante considerar que siempre existe la posibilidad de que puede alterar adversamente las propiedades de resistencia al vapor de agua, gases o transporte de solutos. La influencia de un aditivo dado dependerá de su concentración, estructura química, grado de dispersión en la película y grado de interacción con el polímero (Bosquez, 2002).

2.7.5. Estabilidad de la Emulsión

Este aspecto involucra la eficacia de los agentes emulsificantes y estabilizadores, además del grado de emulsificación alcanzado al momento de formar la dispersión. Si se obtiene una adecuada homogeneización del sistema es posible garantizar la uniformidad en el tamaño y distribución de las partículas de la fase dispersa lo que repercutirá en la funcionalidad de barrera contra la transferencia de masa de la película formada (Bosquez, 2002).

2.7.6. Mecanismos de Difusión en las Películas

Son varias las propiedades funcionales de una película o recubrimiento comestible que se relacionan con su resistencia al transporte de gases, vapor o solutos, por ello resulta conveniente tener presente en qué consiste el fenómeno y los términos adecuados que lo describen. Así entonces, la permeabilidad se define como la resistencia al flujo de un penetrante o permeante a través de un recubrimiento (película) impulsado por un gradiente de presión o concentración (Bosquez, 2002).

El transporte del permeante (vapor de agua o gas) puede ocurrir por dos mecanismos: difusión activada, ocurre en ausencia de fracturas, poros u otras imperfecciones de la superficie del recubrimiento o película, e involucra en parte, la solubilización del penetrante en la matriz de la película (del lado de mayor concentración o presión); la difusión a través de toda la película es impulsada por el gradiente de concentración o presión y, finalmente, su liberación (evaporación) en el lado opuesto de la película. Difusión capilar, ésta domina en materiales que son porosos o que tienen imperfecciones como canales o fisuras. En este caso se considera que no existe interacción entre la barrera y el agente penetrante, y por consiguiente el paso de las sustancias es libre (Bosquez, 2002).

2.8. Técnicas de aplicación de recubrimiento

Cualquiera de los procesos de formación expuestos se puede utilizar con variadas técnicas de aplicación. Sin embargo, el modo de aplicación de una película comestible depende en gran medida del tipo de producto que se desee recubrir. La aplicación directa de la solución formadora de película, sobre el alimento o

producto, se puede llevar a cabo por métodos de inmersión, frotación, aspersión, entre otros (Aguilar, 2005).

En el caso de productos que requieren una capa uniforme en una superficie irregular, la inmersión es la técnica que proporciona mejores resultados. Ésta es la más utilizada en el recubrimiento de frutas, vegetales y productos cárnicos. En el caso de frutas verduras, la inmersión se realiza en tanques que contienen las formulaciones formadoras de cubiertas. Posterior a esto se procede a un escurrido y secado, dejando que una película delgada sea formada sobre la superficie del producto (Aguilar, 2005).

La aplicación de cubiertas por aspersión es el método convencional usado generalmente en mucho de los casos. Debido a la alta presión (60-80 psi) un menor gasto de solución formadora de películas es requerido para obtener recubrimientos uniformes (Aguilar, 2005).

El método de frotación utiliza aire comprimido (menos de 5 psi o 35 kPa) que es aplicado en líneas de empaque que poseen rodillos en movimiento para lograr una dispersión uniforme. El exceso de cubierta es removido con cepillos colocados por debajo de los rodillos. La cubierta espumosa contiene un poco de agua para facilitar el proceso de secado (Aguilar, 2005).

2.9. Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

es una medida de la facilidad con la que el vapor de agua puede penetrar en un material. Para el estudio de la permeabilidad de un componente en estado estacionario a través de una barrera no porosa y sin imperfecciones se utiliza una combinación de la Ley de Fick para la difusión, y la Ley de Henry para la solubilidad. La primera Ley de Fick (Ec. 1) asume que el flujo del componente (J), depende de la difusividad del permeante (D), de la concentración diferencial (dC) en el film, y del diferencial de espesor (dX). El signo negativo indica que la migración se produce hacia la menor concentración (Pastor, 2010).

$$J = -\frac{D \cdot dC}{dX}$$

En ausencia de grietas y agujeros, el mecanismo primario para el flujo de gas y vapor a través de una película o recubrimiento es por difusión activa. Por ejemplo, la sustancia que penetra, se disuelve en la matriz de la película de lado de alta concentración, se difunde a través de la película por medio del gradiente de concentración y se evapora del lado de la otra superficie (Ruiz, 2009)

2.10. Función de películas y recubrimientos comestibles

Las películas o recubrimientos comestibles pueden cumplir muchos de los requisitos involucrados en la comercialización de alimentos entre los que destacan el valor nutricional, la sanidad, alta calidad, estabilidad y economía (Bósquez, 2003).

El carácter comestible, la degradación y el aumento de la seguridad alimentaria son los tres principales beneficios de las películas comestibles altamente funcionales (Vuarant, 2010).

Actualmente el uso de películas comestibles se ha extendido a muchos alimentos: productos cárnicos, pescados y carne aviar tanto frescos como congelados, frutas y hortalizas enteras o en trozos, quesos, platos preparados entre otros (cuadro 3). Esto se debe al desarrollo de formulaciones innovadoras respecto a los biopolímeros utilizados para su composición. Según el tipo de biopolímeros (proteínas, polisacáridos, lípidos) que componga la PC o RC sus características y funciones serán diferentes, ya que están ligadas a la composición química y estructural del mencionado biopolímero. Dichas funciones están asociadas a la preservación de la calidad de los alimentos sobre los cuales se aplica y consisten principalmente en servir como barrera en la transferencia de distintas sustancias, desde el alimento hacia el exterior y viceversa (Perzanes M. 2004).

Para poder emplear una película comestible sobre un alimento se han de cumplir los siguientes requisitos:

- Buenas propiedades sensoriales y organolépticas, compatibles con la naturaleza del alimento.

- Solubilidad y dispersabilidad en su preparación y posterior consumo.
- Propiedades mecánicas y protectoras adecuadas. Estabilidad suficiente
- Buena adhesión a la superficie del alimento.
- Requerimientos sencillos de tecnología
- Cumplimiento de la reglamentación alimentaria (sustancias GRAS)
- No tóxicas.

(Pérez, 2012)

Cuadro 3. Aplicaciones de las películas comestibles

Propósito	Aplicaciones
Proveer una protección individual vs la humedad y el oxígeno	pescado fresco, queso, carne y derivados, botana
Retarda 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 reestructurada, pescado, alimentos, liofilizados
Proteger la migración de humedad	Frutas, horneados, congelados
Proteger las piezas que estarán dentro de tazas o bolsas	Quesos, congelados, helados
Proteger la 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, botana
Impartir o mejorar sabor, color y palatabilidad.	Alimentos diversos.

Fuente: Adaptada de Hernández Y., 2004

2.11. Generalidades de alginato

Los alginatos se obtienen mediante extracción alcalina de diferentes tipos de algas pardas de la clase *phaeophyceae*. Su principal fuente comercial es la especie gigante *Macrocystis pyrifera*, aunque también se extrae de *Fucus serratus*, *Laminaria digitata*, *Laminaria cloustonii*, etc. (Bello J. 2000).

Estas algas contienen mezclas de sales del ácido algínico, componente básico en la producción de alginato. Los alginatos consisten en una secuencia de ácidos gulurónicos (**G**) y manurónico (**M**). Así se conocen tanto alginatos de alto-M como de alto-G dependiendo de la relación cuantitativa entre los dos ácidos que forman la molécula de alginato. En general se encuentra:

- Alginatos de alto-M: las cadenas son lineales, y tienen la función de ayudar a dar conformación tridimensional aguantando a las cadenas G. por esta razón dan lugar a un tipo de gel dúctil, flexible, elástico y con poca sinéresis.
- Alginatos de alto-G: las cadenas tienen una estructura en zig-zag y permiten una unión más fácil del calcio dándose la forma conocida como "caja de huevo" que proporciona un gel consistente, rígido, quebradizo y con sinéresis.

El comportamiento del alginato depende, entre otras cosas, de la relación M/G y del peso molecular final, ya que condiciona las características de texturas finales en el producto (Cuberto *et al.*, 2002).

El agar, el alginato y la carragenina son los tres hidrocoloides que se extraen de las distintas algas rojas y pardas. Un hidrocoloide es una sustancia no cristalina con moléculas muy grandes que se disuelven en agua y da una solución espesa (viscosa) (FAO, 2004).

Con la aplicación de alginatos se puede conseguir una textura de gel o un aumento de la viscosidad. Como espesantes tienen un comportamiento pseudoplástico, y bajo los efectos de un tratamiento térmico fuerte pierden una parte de su viscosidad. En este estado son poco sensibles a los efectos

mecánicos y presentan buen comportamiento a los ciclos de congelación-descongelación, pudiendo presentar un pequeño incremento de la viscosidad con presencia de calcio en el medio (Cuberto *et al.*, 2002).

Las características del gel formado con alginato pueden variar mucho según la aplicación que se desee.

Los alginatos varían su solubilidad según su estructura y condiciones del medio:

- El ácido algínico y las sales divalentes o trivalentes son insolubles. El alginato cálcico se puede llegar a disolver en medio alcalino.
- Alginato sódico, potásico, amónico y de propelinglicol son solubles y pueden actuar como espesantes tixotrópicos y pseudoplásticos en ausencia de iones calcio en el medio, dando lugar a la formación a una pasta. En el caso de existan iones calcio formaran geles. La velocidad de unión entre el alginato y el calcio se puede modular un secuestrante.
- Los alginatos son normalmente solubles en los sistemas acuosos que tengan un nivel de pH cercano al neutro y tienden a la precipitación a valores de pH ácidos.
- Para una correcta disolución de alginato, se aconseja dispersar mezclándolo con otros ingredientes en polvo y aplicando una fuerza de cizalla procurando no incorporar aire. Existen alginatos de sodio de más fácil dispersión.
- Son solubles tanto en frío como en caliente.

Una de las características distintivas de los alginatos es su capacidad para formar geles en presencia de iones divalentes y polivalentes, siendo el calcio el más importante (Cuberto *et al.*, 2002).

Un ión calcio presenta dos cargas positivas (Ca^{2+}) capaces de combinar dos grupos funcionales COO^- libres de la molécula de alginato. Estos iones calcio forman puentes uniendo dos cadenas de alginato alto-G, creando la estructura “caja de huevo”, si el número de iones calcio es pequeño la red de alginato solo

produce soluciones viscosas, pero a medida que aumenta el número de iones la solución se convierte gradualmente en un gel (Cuberto *et al.*, 2002).

También pueden darse uniones entre iones calcio y grupos hidroxilo (OH), pero estas uniones son secundarias. La gelificación tiene lugar bajo condiciones controladas en presencia de iones divalentes, a excepción del magnesio, dando lugar a geles no reversibles a la rotura ni al calentamiento y que no dan fenómenos importantes de sinéresis (expulsión del agua, inicialmente retenida, por una reorganización interna de las moléculas) (Cuberto *et al.*, 2002).

Debido a la rápida gelificación de los alginatos, a menudo se usan secuestrantes (fosfatos principalmente) para controlar el proceso de gelificación y solubilidad, ya que interesa una reacción lenta para la formación de películas y geles homogéneos (Cuberto *et al.*, 2002).

Cuando una solución de alginato soluble se le introduce de modo controlado cationes de metales alcalinotérreos, se consigue la formación de gel. Varios son los factores que influyen en la formación de este gel y en las propiedades que presenta:

- Su estructura química y el peso molecular: los alginatos relativamente ricos en ácidos gulurónico tienden a formar geles firmes, pero quebradizos, mientras que los ricos en ácido manurónico suelen dar geles flexibles. El peso molecular es un factor determinante de la viscosidad.
- La concentración de alginato: determina la fuerza de gelificación, dentro de unos límites fijados por la viscosidad del sistema obtenido.
- La relación entre la sal sódica y la sal cálcica: cuanto mayor sea la posibilidad de pasar del alginato sódico soluble al alginato cálcico insoluble, mayor fuerza tendrá la gelificación. Sin embargo, cuando más elevada sea la proporción de cationes de Ca^{2+} mayor será el riesgo de que se produzca una sinéresis del gel nunca deseable.

- El pH: La concentración protónica del medio es un factor determinante de la solubilidad de las sales de calcio; por eso, los pH ácidos favorecen la gelificación, aunque la acidez extrema conduce a una sinéresis.
- La temperatura: El calor aumenta la solubilidad de los componentes y la velocidad de reacción, pero los tratamientos térmicos prolongados, de modo particular si el pH es ácido, pueden conducir a una despolimerización molecular y a pérdidas en la fuerza del gel. La mayoría de los geles de alginatos se alteran cuando se calientan por encima de los 100°C, lo que representan un impedimento para el empleo de alginatos en alimentos que han de sufrir un proceso de esterilización. Tal vez por ello, la mayoría de sus aplicaciones hacen referencia a productos que se elaboran a la temperatura ambiente.
- La forma física de los reactivos: Hay que tener en cuenta que la mayoría de las formulaciones para geles de alginatos implican el empleo, cuando menos de un componente en forma de polvo fino, que debe ser distribuido de modo uniforme para que se disuelva a una velocidad determinada. También algunas sales de calcio, como sulfato y fosfato ácido, se presentan bajo distintos grados de hidratación y en formas cristalinas diversas. La distribución del tamaño de las partículas tienen un marcado efecto sobre la solubilidad y, por tanto sobre la disponibilidad de los iones Ca^{2+} . Para obtener resultados uniformes es necesario normalizar el tamaño de las partículas.

Los alginatos son polisacáridos que no se absorben en el tracto digestivo y cuando superan la concentración del 4% pueden provocar pérdidas de los metales divalentes esenciales, como calcio o hierro (Bello, 2000).

Los alginatos presentan sinergismos en su aplicación conjunta con pectinas y almidones:

- Pectinas: En presencia de pectinas, en condiciones ácidas, forman geles termorreversibles sin necesitar la presencia iones calcio.

- Almidones: los geles obtenidos por combinación de alginato y almidón son menos elásticos que los obtenidos con alginatos solamente. Esto es debido a que los almidones interaccionan con los alginatos bloqueando grupos carboxilos libres mediante puentes de hidrogeno, por lo que se necesita más energía de activación para romper estos puentes y reemplazarlos por calcio.

El alginato ha sido usado debido a sus múltiples ventajas tanto para el consumo humano como versatilidad en aplicaciones industriales (cuadro 4). Los beneficios de su ingesta como fibra diaria para la reducción de los niveles de azúcar y colesterol en sangre, así como, la capacidad para prolongar la vida útil en productos.

Cuadro 4. Propiedades funcionales y usos industriales de alginato

Industria	Uso	Producto
Alimentos	Estabilizador de emulsiones	Helados
	Agente gelificante	Postres tipo gelatina Rellenos de panificación Sustitutos de frutas Cubiertas de embutidos
	Espesante	Salsas y aderezos Productos enlatados, congelados, deshidratados
	Estabilizador de espuma	Cerveza, vino
Farmacéutica	Emulsificador y espesante	Jabones, Lociones y Shampoos
	Agente desintegrador	Tabletas
	Gel absorbente	Vendajes quirúrgicos

	Agente de suspensión	Ungüentos, antibióticos
Agricultura	Agente de retención de agua	Acondicionador de suelos
Papel	Agente de suspensión	Corte y dimensionamiento de papel
Textil	Espesante, gelificante	Impresión de géneros
Otras industrias	Agente gelificante	Explosivos (geles de alginato-borato) Odontología (impresiones dentales) Juguetería (moldes para juguetes) Fotografía (endurecimiento de geles) Tratamiento de aguas (agente floculante) Biocatalizadores (inmovilización de células y enzimas)

Fuente: Adaptado de García G. *et al.*, 2004

Las nuevas tendencias tecnológicas se han enfocado en la producción de alimentos reestructurados y funcionales a partir de compuestos activos como antioxidantes, vitaminas, aminoácidos, minerales e incluso de pequeñas moléculas como células, enzimas y microorganismos probióticos beneficiosos para la salud, y por tanto, de su conservación en los alimentos durante el procesamiento y almacenaje (Parra-Huertas., 2010). Estas ventajas del alginato y las recientes tendencias tecnológicas se han fusionado en la técnica de microencapsulación, resultando en un producto final que permite proteger a los compuestos encapsulados de factores adversos como el calor y la humedad, mejorando así su estabilidad y biodisponibilidad (Lupo *et al.*, 2012).

Los hidrocoloides han sido empleados como matriz debido a su capacidad para absorber agua, fácil manipulación e inocuidad. El alginato es un hidrocoloide que posee tanto estas características como propiedades gelificantes, estabilizantes y espesantes, razones por las cuales ha sido de gran interés para la industria alimentaria (Lupo *et al.*, 2012).

Si en su estructura polimérica se tiene mayor cantidad de G-bloques, generalmente el gel es fuerte y frágil, mientras que con la presencia de mayor proporción de M-bloques el gel formado se presenta suave y elástico. La gelificación tiene lugar al producirse una zona de unión entre un G-bloque de una molécula de alginato que se enlaza físicamente a otro G-bloque contenido en otra molécula de alginato a través del ión calcio. La visualización de la estructura física es denominada modelo “caja de huevos” (Lupo *et al.*, 2012).

Los polisacáridos derivados de plantas, constituyen alrededor del 16.6% del mercado total de polímeros en estados unidos en tanto que los alginatos, polímeros derivados de algas, ocupan aproximadamente 6.7% de este importante mercado. La producción mundial de alginatos de algas se ha estimado en 20000 t. Otras pequeñas compañías productoras de alginato de algas se localizan en Noruega, Alemania, Japón y Australia, compartiendo poco menos del 20% (García *et al.*, 1993).

México cosecha actualmente en las costas de Baja California, una variedad de algas cafecés *Macrocystis pyrifera*, misma que constituyen la materia prima para la obtención de ácido alginico y sus sales (García *et al.*, 1993).

El consumo aparente del ácido alginico y sus sales en México durante el periodo 1981-1982, fue superior a las 350 t, lo que represento un valor superior a los 3 millones de dólares por concepto de importación. Este consumo aparente presenta un comportamiento lineal ascendente con una tasa de crecimiento anual de 2.3 t. en el territorio nacional (García *et al.*, 1993).

Los alginatos obtenidos por extracción (figura 1) a partir de algas marinas presentan dificultades para su purificación, lo que resulta en productos costosos. El producto es difícil de purificar, debido a la presencia en las algas de otro tipo de polisacáridos. Además los bajos rendimientos en la extracción del ácido alginico (10-40% peso seco de algas), las fluctuaciones estacionales en el contenido de alginatos y el alto contenido de impurezas, contribuyen al alto costo del producto. Los problemas anteriores han provocado que esta industria busque alternativas de producción, encontrando en la obtención de alginato por fermentación microbiana una opción técnica y económicamente atractiva (García *et al.*, 1993).

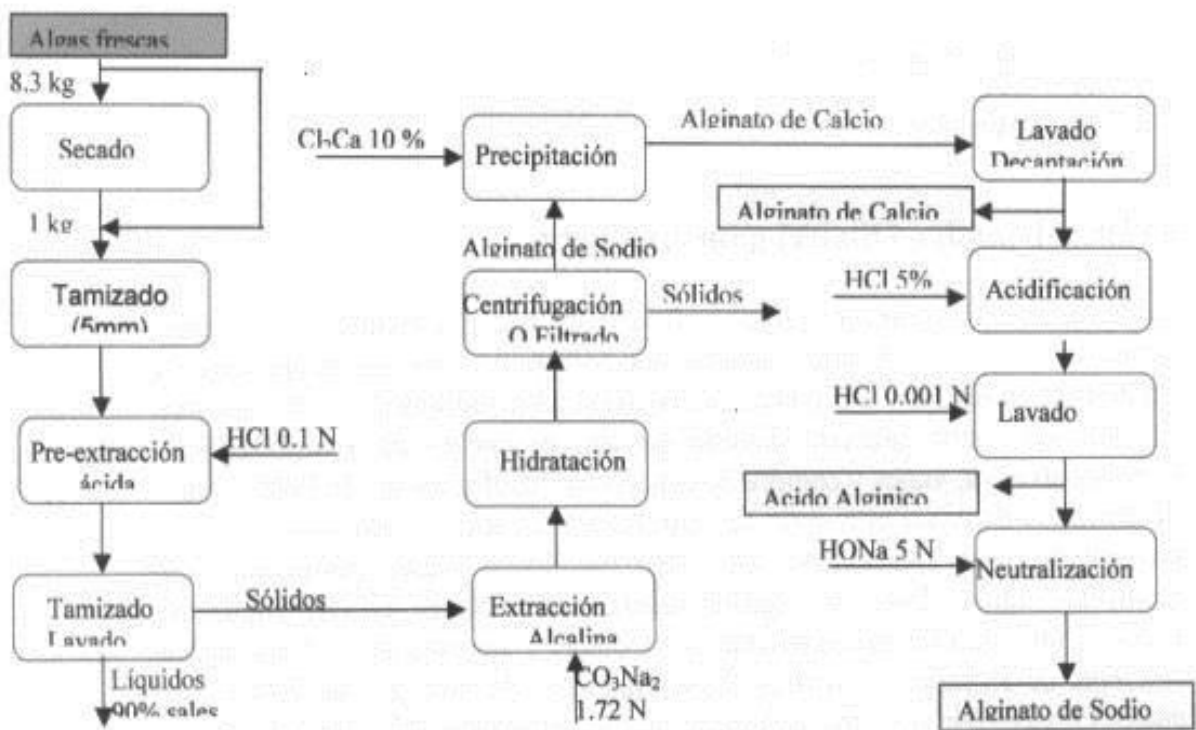


Figura 1. Extracción de alginato

2.12. Características fisicoquímicas

2.12.1. Estructura química

La estructura química, (figura 2) así las propiedades físicas de los alginatos bacterianos es muy similar a aquella de alginatos de algas. Alginato es un término general, usado para describir las sales del ácido alginico, siendo la más común el alginato de sodio. El ácido alginico es un ácido orgánico débil, que forma fácilmente sales con diferentes bases. Los ácidos alginicos son polisacáridos lineales compuestos de producciones variantes de enlace β 1-4 +ácido D-manopiranosilurónico (ácido manurónica) y β 1-4 ácido L-gulurónico. El arreglo de monómeros en este copolimero ha sido referido como “estructura en bloques” (García *et al.*, 1993).

Entre los polisacáridos utilizados están presentes los alginatos, quienes se encuentran en las algas pardas y algunas especies bacterianas. Los alginatos representan una familia de copolímeros lineales compuestos por cantidades variables de ácido (1,4) β -D-manurónico (bloque M) y su primero C-5, el ácido α -L-gulurónico (bloque G) (Guillén *et al.*, 2010).

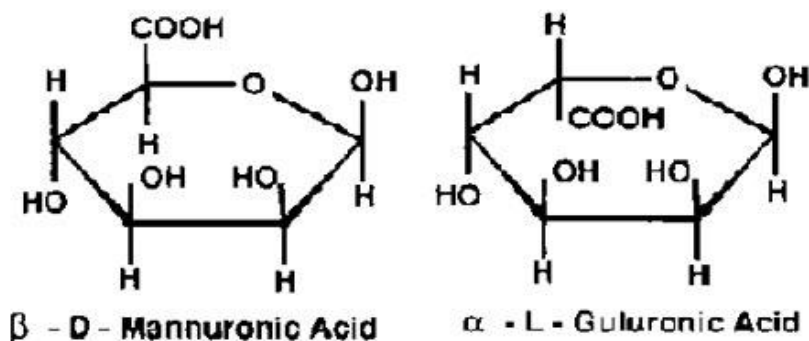


Figura 2. Alginato

Los alginatos pueden utilizarse como recubrimientos comestibles por su capacidad de formar geles en presencia de sales de calcio, de ésta manera el alginato de sodio soluble y las sales de calcio producen un gel de alginato de calcio insoluble; estructuralmente los iones de calcio sustituyen a los iones de

sodio de 2 moléculas adyacentes para producir un complejo entrecruzado o una red de polímero (Guillén *et al.*, 2010).

Las características físico químicas de los alginatos dependen de la fuente natural de procedencia, del método de extracción utilizado y del tipo de catión que los forme (Hernández *et al.* 2011).

Los alginatos se degrada por encima de los 50°C en aquellos medios cuyo pH este comprendido entre 5.0 y 9.0. (Bello, 2000).

2.13. Generalidades de la goma guar

Procede del endospermo de las semillas de guar, planta que crece principalmente en India y Pakistán, perteneciente a la familia de las leguminosas (Cuberto *et al.*, 2002).

En sus orígenes, este término era empleado para referirse a los productos de la exudación de algunas plantas y árboles; sin embargo, en la actualidad su uso se ha extendido a un grupo muy amplio de polisacáridos de alto peso molecular que tienen la capacidad de actuar como espesantes y gelificantes y que además presentan algunas propiedades funcionales tales como las de emulsificación, estabilización, etcétera (Badui, 1993).

Goma guar (figura 3). Se obtiene del endospermo de la semilla leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus*, su estructura química, esta ramificada y la cadena principal consiste en unidades de β -D-manopiranosas unidas $\beta(1,4)$ y a la cual se le añaden ramas de α -D-galactopiranosas por enlaces $\alpha(1,6)$. La relación de monosacáridos es de 1:2 es decir, en cada tercer D-manosa se localiza una D-galactosa. Su peso molecular es variado, pero el medio se considera de 220000 (Badui, 1993).

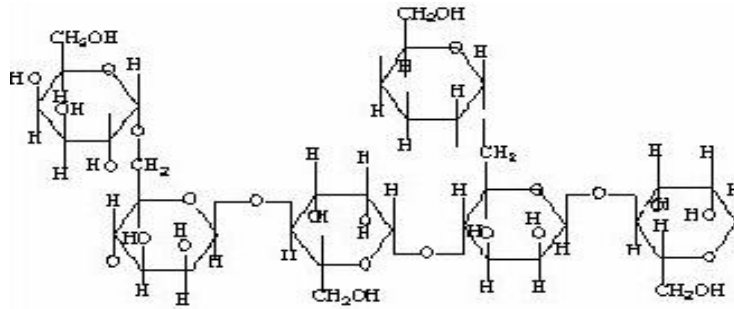


Figura 3. Goma guar

Carece de grupos ionizables, lo cual la hace prácticamente inalterable a los cambios de pH, ya que es estable en el intervalo 1.0-10.5, pero su máxima capacidad de hidratación se alcanza a pH de 7.5-9.0. La adición de altas concentraciones (>5.0%) de sales multivalentes provoca que se produzcan geles. Al hidratarse en agua fría forma dispersiones coloidales viscosas con características tixotropicas (Badui, 1993).

La goma guar por consiguiente, su hidratación. Como consecuencia de su elevada afinidad con el agua, la goma de guar proporciona una altísima viscosidad en sistemas acuosos o lácticos, incluso en dosis bajas, presentando un comportamiento pseudoplástico (Cuberto *et al.*, 2002).

La goma guar se usa principalmente como agente espesante con viscosidad en función de la temperatura. Puede usarse en una amplia gama de productos, ya que permanece estable en un rango de pH 3-11. Presenta la ventaja de ser soluble en frío. Al calentarse, si los tratamientos térmicos son fuertes, pierden en parte su viscosidad. Es poco sensible a los efectos mecánicos y tiene buena resistencia a los ciclos de congelación-descongelación. Presenta muy buena estabilidad cuando los productos se almacenan a temperatura ambiente (Cuberto *et al.*, 2002).

La aplicación más habitual en alimentos se encuentra en: queso fresco, queso fundido, helado, salsas, aderezos, bebidas, productos de panadería y pastelería (Cuberto *et al.*, 2002).

El uso de las gomas en la industria alimentaria es muy vasto: en helados, confitería, jugos de frutas, cerveza, vinos, mayonesa, queso, mermeladas, aderezos, embutidos, productos dietéticos, etc. (Badui, 1993).

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

La parte experimental del presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Alimentos I del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en la localidad de Buenavista que pertenece al municipio de Saltillo, Coahuila.

3.1. Material utilizado

- Cajas Petrí desechables
- Celdas para espectrofotómetro
- Embudos de filtración
- Jeringas de 10 mL
- Guantes de plástico
- Agitadores magnéticos
- Matraz 1000mL KIMAX
- Micropipeta 100-1000 μ L ACCUMAX
- Papel filtro marca Whatman No. 1
- Pipetas 10 mL KIMAX
- Termómetro
- Vasos de precipitado de 100 mL y 1000 mL.
- Celdas para determinación de permeabilidad al vapor de agua
- Barras magnéticas de agitación
- Disecador CIENCE WARE

3.2. Equipo utilizado

- Balanza analítica OHAUS ADVENTURER
- Espectrofotómetro GEAESYS 10 UV
- Estufa de secado QINCY LAB
- Micrómetro MITUTOYO.
- Fotocolorímetro MINOLTA CR-400

3.3. Reactivos

- Ácido cítrico JALMEK

- Agua destilada
- Alginato SAFC
- Goma guar SIGMA-AIDRICH
- Glicerol JALMEK
- Cloruro de sodio JALMEK

3.4. Métodos

3.4.1. Preparación del alginato

El alginato de sodio se preparó al 2% con agua destilada utilizando agitación constante (500 rpm) a una temperatura de 70°C. Ha continuación se le agrego glicerol al 10% manteniéndolo en agitación constante (500 rpm a 70°C)(Fig. 4).



Figura 4. Preparación de alginato

3.4.2. Preparación de la goma guar

La goma guar al 1% se preparó en agua destilada, manteniéndola en agitación constante (500 rpm) a una temperatura de 40°C por 30 minutos. Posteriormente se agregó 10 % de glicerol manteniendo en agitación constante a una temperatura de 40°C (Fig. 5).



Figura 5. Preparación de la goma guar

3.4.3. Combinación de alginato y goma guar para obtener las formulaciones del recubrimiento comestible

Para obtener las diversas formulaciones que se analizaron se prepararon las mezclas de alginato de sodio y goma guar considerando los porcentajes del cuadro 5.

Cuadro 5. Porcentaje de alginato de sodio y goma guar

Película	Goma Guar (%)	Alginato (%)
A	0	100
B	10	90
C	20	80
D	30	70
E	40	60
F	50	50

Cada mezcla se colocó en caja Petri y se secó en una estufa a 60-70°C aproximadamente por 6 horas hasta secado completo de la película.

Posteriormente se desprendió de la caja y se guardaron en un desecador hasta su análisis.

3.4.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos

3.4.4.1 Color

El color de las películas se evaluó utilizando un colorímetro (Minolta CR-400, Tokio, Japón). Se utilizó una placa de color blanco ($L=97.75$, $a=0.49$, $b=1.96$, supplied by Minolta Co.) para calibrar el aparato. El sistema proporciona los valores de tres componentes de color; L^* (componente negro-blanco, luminosidad) y coordenadas de cromaticidad, a^* (componente +rojo a -verde) y b^* (componente +amarillo a -azul). Las muestras se analizaron en 5 posiciones tomadas al azar. (Michaca, 2004; Rao *et al.*, 2010).

3.4.4.2. Grosor

El grosor de las películas se determinó usando un micrómetro Mitutoyo (Fig. 6), con una sensibilidad de 0.001mm, se tomaron 5 mediciones al azar varios puntos de la misma muestra (Fig. 7), siguiendo la metodología de Rao *et al.* 2010.



Figura 6. Micrómetro Mitutoyo



Figura 7. Determinación del grosor

3.4.4.3. Opacidad

Para la determinación de opacidad se siguió el método BSI modificado por Gontard, Guilbert y Cuq (1992). Se realizó un barrido de 400, 500, 600, 700, y 800 nm utilizando un espectrofotómetro VIS/UV (Fig. 8),



Figura 8. Determinación de porcentaje de opacidad

3.4.4.4. Contenido de humedad

El contenido de humedad (CH) de cada película se determinó de acuerdo al método reportado por Mei & Zhao (2003). Las películas se cortaron en cuadros de 2 cm x 2 cm. Las piezas se colocaron en recipientes de aluminio que previamente estaban a peso constante. Las películas y los recipientes de aluminio se ubicaron en un horno de laboratorio (Quincy Lab Inc., Chicago, Illinois, U.S.A.) a 100 °C durante 24 h. Los pesos de las muestras se registraron antes y después del secado utilizando una balanza analítica (Adventurer Ohaus Corp., Pine Brook, New Jersey, U.S.A.) con una exactitud de 0.0001 g. La CH se determinó como porcentaje considerando el peso inicial de la película antes de la deshidratación y el peso de las películas después de la deshidratación (Ecuación 3). Se evaluaron dos repeticiones de cada película para obtener los valores de CH.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{(\text{Peso seco inicial} - \text{Peso seco final}) * 100}{(\text{Peso seco inicial})} \quad \text{Ec. 3}$$

3.4.4.5. Solubilidad

Siguiendo la metodología propuesta por Romero-Bastida *et al.* (2005) y utilizando las muestras de determinación de humedad (Fig. 9), éstas muestras secas se colocaron en vasos de precipitados de 250 mL con 80 mL de agua destilada con agitación constante a 25 °C y 300 rpm durante 60 minutos. Después de este tiempo, las muestras se secaron durante 24 h a 60 °C hasta peso constante utilizando una balanza digital (Adventurer Ohaus Corp., Pine Brook, New Jersey, U.S.A.) con una exactitud de 0.0001 g (Fig. 10). Para calcular los porcentajes de solubilidad se utilizó la ecuación 4. Las muestras se analizaron por duplicado.

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{(\text{Peso seco inicial} - \text{Peso seco final}) * 100}{(\text{Peso seco inicial})} \quad \text{Ec. 4}$$



Figura 9. Filtrado



Figura 10. Secado de los conos

3.4.4.6. Permeabilidad

La determinación de la permeabilidad del agua se realizó siguiendo el método de Talja *et al.* (2007).



Figura 11. Determinación de permeabilidad

Las celdas de permeabilidad con muestra (Fig. 11) se mantuvieron a diferentes porcentajes de humedad relativa (HR) 75%, 85% y 100% a una temperatura de 25°C, llevando un registro del comportamiento de ganancia o pérdida de peso con la balanza.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico de los resultados se realizó en cuatro etapas, la primera corresponde al análisis de las tres variables con las que se mide el color y el grosor; se usó un diseño ANVA completamente al azar con submuestreo de cinco observaciones en cuatro repeticiones. La segunda etapa fue el análisis de opacidad en las frecuencias de 400, 500, 600, 700 y 800 nm, donde se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones, y con dos submuestreos por repetición. La tercera etapa consistió en el análisis de la solubilidad, en donde también se utilizó el diseño completamente al azar con cuatro repeticiones y dos submuestreos por unidad experimental. Durante el proceso se evaluaron siete mediciones parciales para obtener el porcentaje de humedad. Para el análisis de la permeabilidad, se tomaron en cuenta dos variables: la pendiente y la WVP (permeabilidad al vapor de agua), estas fueron evaluadas respecto a los seis tratamientos (composiciones de las películas) y tres porcentos de humedad relativa (75, 85 y 100%). El diseño utilizado fue el factorial.

Los tratamientos consisten en las 6 combinaciones de ingredientes de la película que ya se mencionaron. El paquete utilizado fue el SAS en su versión 2010.

4.1. Análisis de color

El color es un factor de calidad de importancia fundamental de los alimentos, ya que la apariencia visual es el primer sentido que se utiliza y por tanto una característica decisiva en la elección de estos.

Para la determinación de color en este experimento se toman 5 lecturas de cada una de las muestras de los tratamientos, realizando este procedimiento cuatro veces. Obteniendo resultados de luminosidad (L) y coordenadas de cromaticidad (a^* y b^*).

4.1.1. Luminosidad

En lo que se refiere a "L" (luminosidad) de la variable color, no se encontró diferencia significativa a $p < 0.05$ (anexo 1). La media general fue de 87.9 esto significa que a diferente concentración de alginato-goma guar, los valores de las

películas, son por arriba del estándar lo que permite decir que L es más intenso en las películas elaboradas a diferentes concentraciones, tomando en cuenta que $L=0$ se observa el componente negro $L=50$ es un valor intermedio entre el blanco y negro, esto significa que las diferentes concentraciones no son notables en cuanto a esta variable ya que no influye en el blanco de las películas siendo este predominante en los dos componentes.

Arruda *et al.*, (2004) observaron que el envasado en un material de alta permeabilidad propicia valores significativamente mayores de luminosidad (L^*), en relación al envasado en materiales menos permeables.

Investigaciones reportadas por Ruiz *et al.*, (2009) dicen que los valores promedio de la luminosidad en distintas películas aparentemente presentan una tendencia similar, es decir, al aumentar el espesor, disminuye la luminosidad. Sin embargo, análisis de varianza demuestran que esto solo es cierto en la películas MPA (mucilago de nopal seco, polietilenglicol y glicerol). En estas películas a menor espesor mayor luminosidad.

4.1.2. Cromaticidad a^* (+rojo-verde)

En lo que se refiere a la cromaticidad “a” de la variable color, los resultados muestran que no existe diferencia significativa ($p < 0.84$) entre tratamientos (anexo 1), esto se debe a que los dos elementos que componen la película son muy similares en la tonalidad hacia el verde lo que ocasiona que al cambiar los porcentajes de contenido no altera la varianza de la media que fue de 1.64 en forma general.

4.1.3. Cromaticidad b^* (+amarillo-azul)

En el análisis del eje “b” se muestra que existe diferencia significativa ($p < 0.0001$) entre tratamientos a diferentes concentraciones alginato-goma guar (anexo 1), del cual se genera un vector de magnitud que muestra la variable del tono amarillo disminuyendo este de 3.02 a un tono de 1.75 (anexo 2). Se puede explicar la diferencia en este parámetro entre la relación de las diferentes concentraciones de los tratamientos, por la presencia del propio alginato que es un polvo ligeramente amarillo, este va disminuyendo cuando es menor su contenido en el producto

terminado, como se muestra en la figura 12. Esto también se le atribuye a la goma guar la cual es un polvo con una coloración ligeramente blanca.

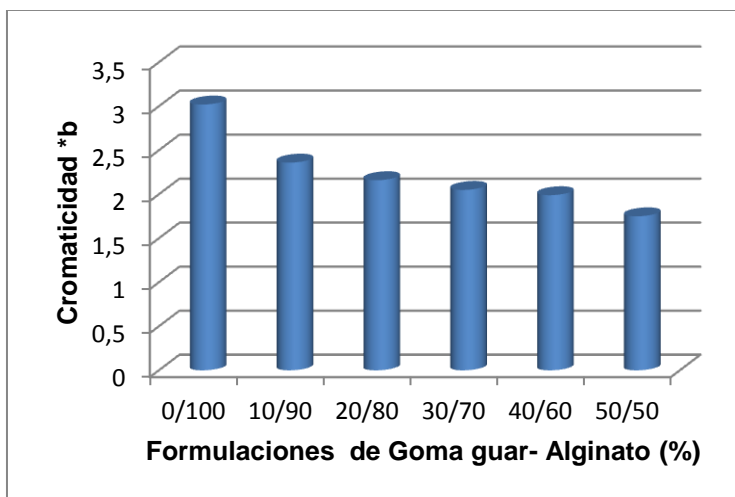


Figura 12. Comportamiento del eje "b" de la variable color

Otro factor importante que puede influir o afectar en la coloración de las películas según lo que menciona Ruiz (2009) es la presencia de plastificantes.

4.2. Grosor

El aumento de la goma guar en el producto ocasiona que la variable grosor se incremente y que se tenga una diferencia significativa ($p < 0.007$) (anexo 1). En el tratamiento 30%GG y 70%A muestra que en este punto el espesor es mayor que en las demás pruebas, El comportamiento se muestra en la figura 13. El valor más alto es de 0.147 (anexo 2) y va disminuyendo hasta 0.049, en el tratamiento A: 0%G-100%A.

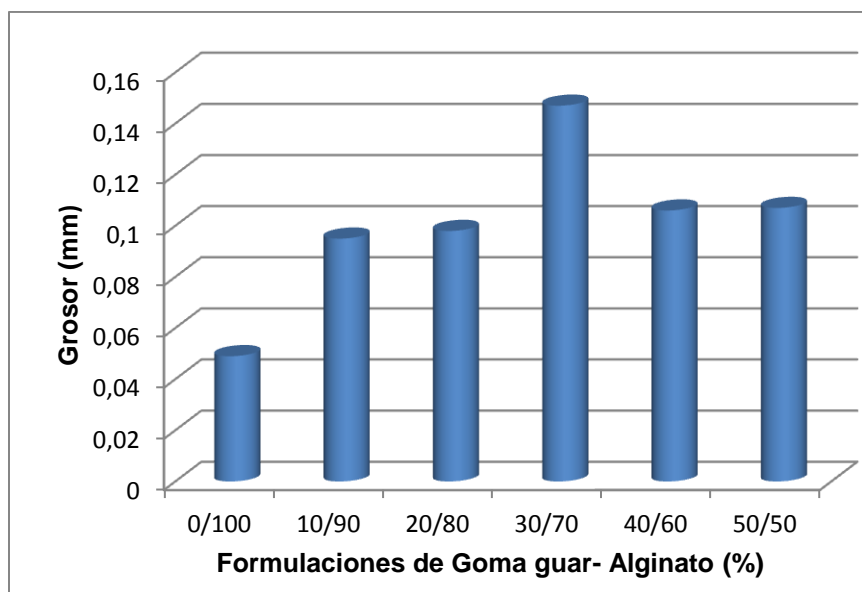


Figura 13. Comportamiento de la variable grosor

También indican que las películas de un solo componente eran más delgadas en comparación con películas de material compuesto y que las películas de pectina pura producen películas más gruesas en comparación con las películas de alginato puro. La última observación es probablemente debido a una estructura más organizada formada en películas simples de alginato (Sriamornsak & Kennedy, 2008).

Acevedo (2009) dice que en biopelículas con distintos niveles de hidratación se obtuvo una relación lineal entre las variables concentración de alginato por unidad de área y el espesor. A mayor hidratación la biopelícula presentó mayor espesor. Esto último se debe a que el agua produce un efecto de expansión en el polímero, y en consecuencia un cambio de su estructura. Además, la hidratación del recubrimiento tiene un efecto plastificante.

4.3. Opacidad

En el análisis de la opacidad se encontró que en las primeras frecuencias (400nm, 500nm, 600nm) no existe diferencia significativa entre tratamientos, mientras que en las otras dos sí existe diferencia significativa 700 de ($p < 0.043$) y 800 ($p < 0.04$) (anexo 3). El comportamiento indica que la diferencia se presenta entre el primer

tratamiento y el resto (anexo 4), es decir, el cambio se manifiesta cuando se agrega la goma guar. El único caso donde se presenta más diferencias entre medias es en el último tratamiento (50%GG-50%A). En la figura 14 se aprecia que la opacidad va disminuyendo en cada una de las frecuencias en tanto se va aumentando la proporción de goma guar. Estos resultados muestran que de todos los tratamientos formulados al 100% de alginato es el más transparente a las diferentes longitudes de onda mientras que la incorporación de goma guar confiere una mayor opacidad.

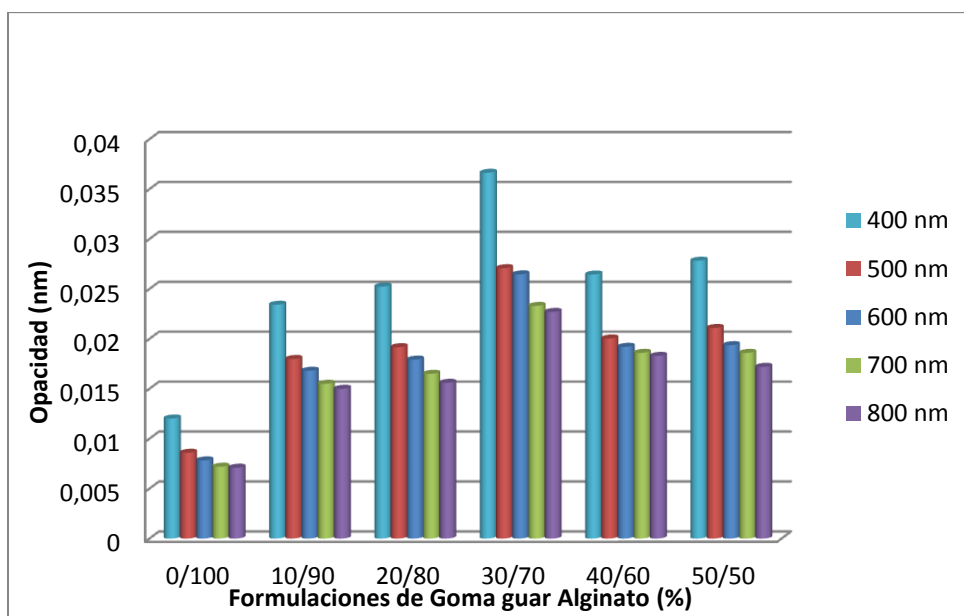


Figura 14. Comportamiento de las medias de la variable opacidad

Según Sánchez (2011) como la habilidad de los materiales para transmitir la luz depende de sus propiedades para absorber y dispersar la luz.

Datos reportados por Valle *et al.*, (2008) dicen, que las películas elaboradas a base de goma arábica y carboximetilcelulosa presentaron transmisión de luz promedio de 81%, lo que denota un grado alto de transparencia, pero no hubo diferencia significativa entre formulaciones. En la etapa de diseño evolutivo se encontró que la adición de CMC (carboximetilcelulosa) causó que el recubrimiento dejara de ser opaco y adquiriera un apariencia transparente. Actualmente no

existen informes cuantitativos sobre el grado de transparencia de alginato y goma guar lo que impide hacer comparación.

4.4. Solubilidad

En el análisis de solubilidad no se encontró diferencia significativa ($p < 0.208$) entre los tratamientos (anexo 5). Aunque visiblemente la diferencia se encuentra entre el grupo formado por los tratamientos 0%GG-100%A Y 10%GG-90%A siendo el 30%GG-70%A, el punto más bajo (figura 15). Las medias se muestran en anexo 6 que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, el comportamiento en la figura 15. Esto permite decir que las películas tienen alta solubilidad debido a que los dos tipos de reactivos son hidrofílicos.

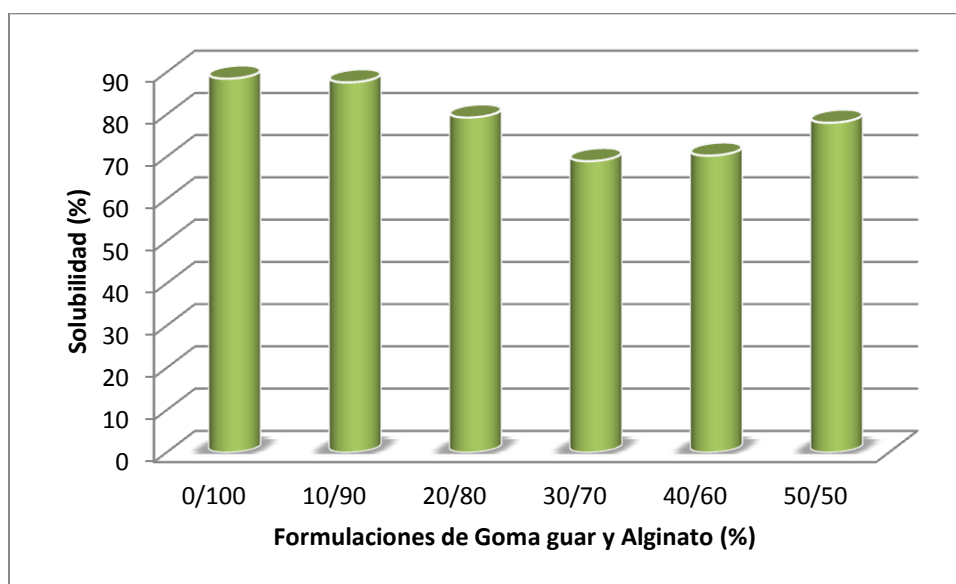


Figura 15. Grafica de solubilidad de películas a base alginato y goma guar.

La baja solubilidad de películas comestibles es uno de los requisitos más importante en aplicaciones alimentarias y farmacéuticas, sin embargo la mayoría de los estudios publicados sobre películas de biopolímeros tratan principalmente con características de la película, tales como propiedades mecánicas y de barrera (Altenhofen *et al.*, 2009).

Películas de alginato puro mostraron mucha menor solubilidad en agua en comparación con las películas de pectina pura. Debido a las fuertes similitudes de las estructuras moleculares de los dos polímeros, la mayoría de los estudios tratan pectina y alginato como casi equivalente con respecto a los mecanismos y capacidades de formación de gel de unión a su calcio (Donati *et al.*, 2006).

4.5. Humedad

En la evaluación de la variable % de humedad se encontró diferencia significativa ($p < 0.03$) (anexo 7), existiendo una diferencia marcada entre el tratamiento 0%GG-100%A y 10%GG-90%A, el resto que tienen un comportamiento muy similar (anexo 8). El comportamiento en la figura 16. Lo cual permite decir que a mayor concentración de alginato mayor % de humedad.

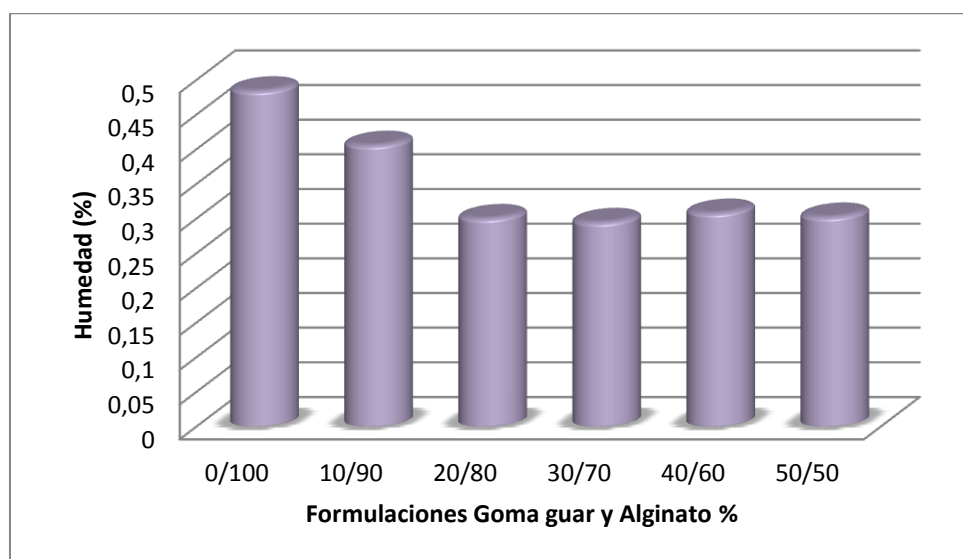


Figura 16. Grafica de porcentaje de humedad de películas a base de alginato y goma guar.

Altenhofen *et al.*, (2009) dicen que el contenido de humedad de equilibrio y la solubilidad en agua de las películas acondicionadas a 52% de humedad relativa aumentaron consistente y significativamente al aumentar el contenido de glicerol

presente en la solución de reticulación. Dado que las condiciones de reticulación finales para el CLP y películas HCA eran la misma es razonable asociar la variación en el contenido de humedad a la cantidad de glicerol presente en la película. Un mayor contenido de glicerol desabrocha la estructura polimérica permitiendo que los enlaces sean más accesibles a las moléculas de agua. Más importante, el glicerol en sí es muy higroscópico y, por lo tanto, probablemente responsable de la mayor parte de la absorción de agua.

4.6. Permeabilidad

Las medias de la variable pendiente tienen la característica de que no son lineales respecto a tratamiento y a humedad relativa, es decir, los niveles más altos en los tratamientos son las formulaciones 20%GG-80%A, 30%GG-70%A Y 50%GG-50%A y en porcentaje de humedad son 100%HR y 75%HR (figura 17) (anexos 9 y 11) siendo la formulación más alta 30%GG-70%A.

En cuanto al análisis de WVP existe diferencia muy significativa entre los porcentos de humedad ($P < 0.01$), no así en los tratamientos. No existe interacción entre factores (anexo 12).

El anexo 9, 10 y 11 muestran las medias de WVP respecto a tratamientos y humedad relativa (figura 17).

En la figura 17 se muestra el porcentaje de humedad que presento mayor resultado en la variable WVP es 100%HR siendo los otros dos porcentos iguales estadísticamente, (anexo 12).

Es importante recalcar, que al igual que la variable pendiente, la variable WVP no se comporta linealmente respecto a tratamientos y humedad.

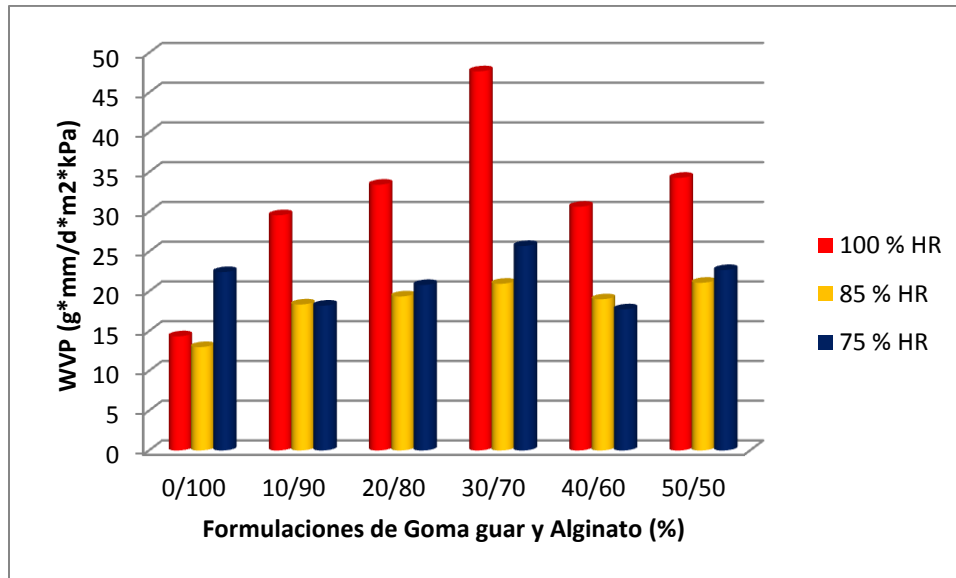


Figura 17. Grafico del comportamiento de los tres diferentes porcentajes (100%, 85% y 75% HR) que se manejaron en esta variable

Según se informa, propiedades de barrera de vapor de agua de películas de biopolímeros disminuyen después de la adición de una mayor cantidad de plastificantes, tales como glicerol (Galus y Lenart 2012).

La estructura química, polaridad relativa, grado de cristalinidad, densidad, orientación molecular, grado de uniones cruzadas entre moléculas, peso molecular y polimerización y la presencia de plastificantes y aditivos, influyen directamente sobre las propiedades barreras al vapor de agua de los recubrimientos comestibles, la presencia de plastificantes disminuye las fuerzas intermoleculares en las cadenas del polímero y por tanto, le confiere una mayor movilidad molecular, aumentando su permeabilidad al vapor de agua. El agua también actúa como plastificante y en general, las películas más hidrofílicas presentan mayores valores de PVA (Pastor, 2010).

CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN

Se logró la obtención de las seis películas comestibles de acuerdo a las formulaciones establecidas con las variantes de alginato y goma guar, y utilizando un 10% de plastificante.

Los resultados obtenidos demuestran que existe una diferencia significativa en cuanto a los parámetros de color en el eje de cromaticidad *b, lo cual demuestra que a mayor concentración de goma guar disminuye la coloración amarilla del alginato obteniendo con menor valor la formulación 50%GG/50%A.

En cuestión del grosor la mejor formulación es 30%GG y 70%A, ya que tiene un mayor grosor y podrá brindar una mejor protección a la matriz alimentaria para aumentar la vida de anaquel.

La opacidad disminuye a medida que se va aumentando el contenido de goma guar mostrando una mayor diferencia en la formulación 50%GG/50%A.

El porcentaje de solubilidad estadísticamente no muestra ninguna diferencia entre los tratamientos pero visiblemente demuestra que la formulación 30%GG-70%A es la menos soluble.

En el porcentaje de humedad hubo una diferencia muy marcada entre los tratamientos 0%GG-100%A y 10%GG-90%A y el resto.

En la variable de permeabilidad al vapor de agua la formulación con la mejor permeabilidad fue 30%GG-70%A en los tres niveles de humedad relativa (57, 85 y 100 %).

CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Acevedo C. Tapia M. López D. & Osorio F. 2009. Diseño de una biopelícula comestible en base a propiedades físicas. Universidad de Santiago de Chile.
- ✓ Alfonso C.C. 2001. Caracterización de películas comestibles de quitosano y la afectación de las propiedades por aplicación de aceites esenciales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Química. Pág. 11.
- ✓ Arias E. Y. Torres A. E. & Pérez C. 2007. Caracterización de las Propiedades Mecánicas y de Barrera al Vapor de Agua en Empaques Comestibles a Base de Alginato de Sodio y Aceite Esencial de Orégano. Instituto Tecnológico de Celaya, Dpto. Ingeniería Bioquímica. Av. Tecnológico y A. García Cubas S/N 38040. Celaya.
- ✓ Arruda M. C. & Jacobino A. P. 2004. Conservação de melão rendilhado minimamente processado sob atmosfera modificada activa. Cienc. Tecnol. Aliment. Campinas, 24(1): 53-58.
- ✓ Arzate I. Domínguez R.N. Terres E. Garibay V. Chanona J.J. & Gutiérrez G.F. 2010. Caracterización estructural y textural de películas comestibles de alginato con NaCl a través de MEBA y análisis de imágenes. X Congreso Nacional de Microscopía-Morelia.
- ✓ Badui S. 1993. Química de los alimentos. Cuarta edición, Universidad Iberoamericana. Departamento de Ingeniería y Ciencias Químicas. Campus Ciudad de México. Pág.110-112.
- ✓ Bello J. 2000. Ciencia bromatológica principios generales de los alimentos. Ediciones Díaz de Santos S.A. Juan Bravo 3-A 28006 Madrid España. Pág.98.
- ✓ Bosquez E. & Vernon E.J. 2005. Efecto de plastificantes y calcio en la permeabilidad al vapor de agua de películas a base de goma de mezquite y cera de candelilla. Revista Mexicana de Ingeniería Química. vol. 4.
- ✓ Bosquez E. 2002. Desarrollo de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para la conservación de frutas. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Biotecnología.

- ✓ Bosquez M. E. Guerrero L. I. & Verdun, E. J. 2003. Moisture barrier properties and morphology of mezquite gum-candelilla wax based coating. *Food Res.* 36(10): 885-893.
- ✓ Cuberto N. Monferrer A. & Villalta J. 2002. Aditivos alimentarios. *Tecnología de Alimentos*. Editorial mundi-prensa. Madrid España. Pág. 122-134.
- ✓ Donati I. Benegas J. C. & Paoletti S. (2006). Polyelectrolyte study of the calciuminduced chain association of pectate. *Biomacromolecules*. Pág. 3429–3447. Apoyo de Altenhofen M. Krause A. & Guenter T. 2009. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca²⁺ ions: effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate Polymers* 77 (2009): 736–742.
- ✓ Famá L. Flores S. Rojas A. M. Goyanes S. & Gerschenson L. 2004. Comportamiento mecánico dinámico de películas comestibles a bajas temperaturas. Influencia del contenido de sorbato y grado de acidez. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Congreso conamet/sam.
- ✓ FAO. 2004. El estado mundial de la pesca. Departamento de pesca de la FAO. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Pág. 115.
- ✓ FDA 21CFR172. 2006. Food additives permitted for direct addition to food for human consumption. Subpart C. Coatings, Films and Related Substances. Code of Federal Regulations, Title 21, Volume 3. Apoyo por Pastor C. 2010. Recubrimiento comestible a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos.
- ✓ García G. Quintero R. & López M. 2004. Biotecnología alimentaria. Situación actual y preservativa. Editorial Limusa. Noriega. Pág. 423-450.
- ✓ Germán A. & Giraldo G. 2006. Efecto del tratamiento de impregnación a vacío en la respiración de frutas (manzana, fresa, melocotón y sandía) mínimamente procesados. Universidad del Quindío Colombia. Facultad de Química Farmacéutica.

- ✓ Glus S. & Lennart A. 2012. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *Journal of food engineering*, 115 (2013): 459–465.
- ✓ Guillén C.J. García M. Arredondo J. Guevara R. b. & Pérez C.I. 2010. Efecto de la concentración de calcio y extractos polifenólicos de *Acacia angustísima* sobre la permeabilidad al vapor de agua de películas de alginato de sodio plastificadas con glicerol. Universidad de Guanajuato. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Departamento de Ingeniería Bioquímica.
- ✓ Harvar C. & Hermony M. 1869. Improved process of preserving meat, fowls, etc. U.S. Patent No. 90944. Apoyo de Ruiz F. 2009. Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal en fresa (*Fragaria ananassa*) almacenada en refrigeración. Tesis Maestría. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Escuela de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla.
- ✓ Hernández M. Avelar A. Quinteri T. & Da silva V. 2011. Laminas libres de alginato de sodio de laminaria *Hiperborea* y *Macrocytis pyrifera*- estudio morfológico. *Revista Iberoamericana de Polímeros*.
- ✓ Hernández Y. 2004. Efecto de la mezcla de plastificantes en las propiedades físicas, mecánicas y de transporte de películas de quitosano. Tesis Licenciatura. Ingeniería de Alimentos. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Escuela de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla.
- ✓ Lupo B. González C. & Maestro A. 2012. Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3 (1): 130-151.
- ✓ Michaca M.A. 2004. Efecto de la adición de glicerol como agente plastificante en las propiedades fisicoquímicas de las películas de zeína. Casa abierta al tiempo. Universidad Autónoma metropolitana.
- ✓ Morillon V. Debeaufort F. Blond G. Capelle M. & Voilley A. (2002) Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films. A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(1): 67-89.

- ✓ Morris A. & Parker A.J. 1895. Preservative coatings for foods U.S. patent No.471. Apoyo de Ruiz Hernández F. 2009. Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal en fresa (*Fragaria ananassa*) almacenada en refrigeración. Tesis Maestría. Ciencia de Alimentos. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Escuela de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla.
- ✓ Pastor C. 2010. Recubrimiento comestible a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos.
- ✓ Pérez P. 2012. Caracterización de la liberación de carbacrol y eugenol contenidos en films de WPI. Tesis de ingeniería. Universidad Pública de Navarra. Departamento de Tecnología de Alimentos.
- ✓ Perzanese M. 2004 Tecnología para la industria alimentaria Películas y recubrimientos comestibles. ficha N°7. Alimentos Argentinos una elección natural. Pág. 1-2.
- ✓ Rao M. S. Kannatt S. R. Chawla S. P. & Sharma A. 2010. Chitosan and guar gum composite films: Preparation, physical, mechanical and antimicrobial properties. Carbohydrate Polymers, 82(4): 1243-1247.
- ✓ Rojas M. A. Bustillos R. J. Olsen C. Friedman M. Henika P. R. & Martin O. 2007. Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate apple puree edible films. Journal of Food Engineering, 81(7): 64-634.
- ✓ Ruiz F. 2009. Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal en fresa (*Fragaria ananassa*) almacenada en refrigeración. Tesis Maestría. Ciencia de Alimentos. Universidad de las Américas Puebla. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos.
- ✓ Sánchez L. Vargas M. Gonzáles C. Cháfer M. & Chiralta A. 2008. Incorporación de productos naturales en recubrimientos comestibles para la conservación de alimentos. VIII congreso SEAE Bullas. Departamento de Tecnología de Alimentos.

- ✓ Sriamornsak P. & Kennedy R. A. (2008). Swelling and diffusion studies of calcium polysaccharide gels intended for film coating. *International Journal of Pharmaceutics*. Pág. 358, 205–213. Apoyo de Altenhofen M. Krause A. & Guenter T. 2009. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca^{2+} iones: effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate Polymers*, 77 (2009): 736–742.
- ✓ Talja R. A. Helén H. Roos Y. H. & Jouppila K. 2007. Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. *Carbohydrate Polymers*, 71(2): 288-295.
- ✓ Trejo M.A. Ramos K. & Pérez C. 2007. efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*fragaria vesca l.*) almacenada en refrigeración. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- ✓ Valle S. López O. Reyes M. Castillo J. & Santos A. 2008. Recubrimiento comestible basado en goma arábica y carboximetilcelulosa para conservar frutas en atmosfera modificada. Universidad Autónoma Chapingo.
- ✓ Vargas M. González C. Chiralt A. & Cháfer M. 2007. Estudio preliminar del uso de recubrimientos de quitosano y de microorganismos eficaces en el control postcosecha de la podredumbre azul de naranjas. Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo. V congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Departamento de Tecnología de Alimentos.
- ✓ Vuarant C.O. 2010. Arándanos avances científicos-tecnológicos en la región de saltos grande. Facultad de Ciencia de la Alimentación. Pág. 58

CAPITULO VII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de varianza para las variables de los ejes de color, luminosidad y grosor.

	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Color eje a	5	0.14	0.2	0.4	0.84
Color eje b	5	19.2	3.84	6.9	0.0001
Color L	5	3.59	0.71	0.57	0.71
Grosor	5	0.09	0.01	3.31	0.007

Anexo 2: Separación de medias para las variables de los ejes de color, luminosidad y grosor. Los tratamientos están expresados numéricamente.

Trat	Color eje a		Trat	Color eje b		Trat	Color L		Trat	Grosor	
50/50	1.67	A	0/100	3.02	A	0/100	88.12	A	30/70	0.14	A
20/80	1.67	A	10/90	2.36	B	10/90	88.05	A	50/50	0.1	A
30/70	1.66	A	20/80	2.16	B C	30/70	88.05	A	40/60	0.1	A
10/100	1.64	A	40/60	2.05	B C	20/80	87.91	A	20/80	0.09	A B
10/90	1.61	A	30/70	1.99	B C	50/50	87.79	A	10/90	0.09	A B
40/60	1.58	A	50/50	1.75	C	40/60	87.62	A	0/100	0.04	B

Anexo 3: Análisis de varianza para la variable opacidad en cada una de las frecuencias.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
400 nm	5	0.001264	0.000253	2.4512	0.073
500 nm	5	0.00072	0.000144	2.6574	0.057
600 nm	5	0.000719	0.000144	2.4578	0.072
700 nm	5	0.000572	0.000114	2.8996	0.043
800 nm	5	0.00053	0.000106	2.9667	0.04

Anexo 4: Separación de medias para cada una de las frecuencia en la evaluación de la variable opacidad.

Trat	400nm		Trat	500nm		Trat	600nm		Trat	700nm		Trat	800nm	
0/100	0.01203	A	0/100	0.0086	A	0/100	0.008	A	30/70	0.0233	A	30/70	0.0227	A
10/90	0.02342	A	20/80	0.018	A	10/90	0.017	A	40/60	0.0186	A	40/60	0.0183	A
20/80	0.02523	A	10/90	0.0192	A	20/80	0.018	A	50/50	0.0186	A	50/50	0.0172	A
30/70	0.03664	A	30/70	0.0271	A	30/70	0.026	A	20/80	0.0165	A	20/80	0.0156	AB
40/60	0.02645	A	40/60	0.02	A	40/60	0.019	A	10/90	0.0155	AB	10/90	0.015	AB
50/50	0.02783	A	50/50	0.0211	A	50/50	0.019	A	0/100	0.0072	B	0/100	0.0071	B

Anexo 5: Análisis de varianza para la variable solubilidad

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	1366.84375	273.368744	1.6086	0.208
ERROR	18	3058.98438	169.943573		
TOTAL	23	4425.82813			

Anexo 6. Media de solubilidad

TRATA	MEDIA	
0/100	88.5289312	A
10/90	87.6335979	A
20/80	79.3236594	A
30/70	68.9956986	A
40/60	70.3079678	A
50/50	78.0820666	A

Anexo 7: Análisis de varianza para la variable % de humedad

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	0.123139	0.024628	3.2128	0.03
ERROR	18	0.13798	0.007666		
TOTAL	23	0.261119			

Anexo 8: Media % de humedad

TRATA.	MEDIAS	
0/100	0.4841	A
10/90	0.4056	AB
40/60	0.3077	B
50/50	0.302	B
20/80	0.2999	B
30/70	0.2943	B

Anexo 9: Medias para la variable 100% HR de la variable WVP de permeabilidad.

TRATA.	MEDIA	
30/70	47.6854736	A
50/50	34.2917376	AB
20/80	33.4214593	AB
40/60	30.6546377	AB
10/90	29.5826725	AB
0/100	14.3523329	B

Anexo 10: Medias para la variable 85% HR de la variable WVP de permeabilidad.

TRATA.	MEDIA	
50/50	21.0871164	A
30/70	20.9677965	A
20/80	19.3681156	A
40/60	19.0119694	A
10/90	18.354886	A
0/100	12.9998108	A

Anexo 11: Medias para la variable 75% HR de la variable WVP de permeabilidad.

TRATA.	MEDIA	
30/70	25.7167022	A
50/50	22.6891536	A
0/100	22.431755	A
20/80	20.808681	A
10/90	18.2092153	A
40/60	17.7436989	A

Anexo 12: Análisis de varianza para la variable WVP de permeabilidad en tratamientos y % de humedad relativa.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
TRATAMIENTOS	17	5095.18533	299.716784	2.3030365	0.01050256
ERROR	54	7027.55094	130.139832		
TOTAL	71	12122.7363			