

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO
NARRO**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE GLICEROL
SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS Y DE BARRERA DE
PELÍCULAS A BASE DE LA MEZCLA DE ALGINATO Y PECTINA**

POR:

DULCE MALENI MARTÍNEZ MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenvista Saltillo Coahuila, México.

Agosto de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

“Evaluación del efecto de la concentración de glicerol sobre las características ópticas y de barrera de películas a base de la mezcla de alginato y pectina”

POR:

DULCE MALENI MARTÍNEZ MARTÍNEZ

TESIS

Que ha sido elaborada 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 siguiente comité:

M.C. Xóchitl Ruelas Chacón

Asesor principal

M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Asesor

M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla

Asesor

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



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Agosto del 2014

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

“Evaluación del efecto de la concentración de glicerol sobre las características ópticas y de barrera de películas a base de la mezcla de alginato y pectina”

POR:

DULCE MALENI MARTÍNEZ MARTÍNEZ

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito para obtener el título de:

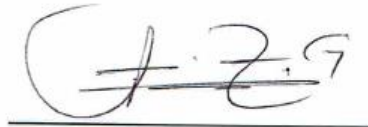
INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

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

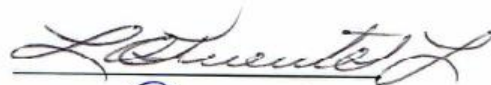
M.C. Xóchitl Ruelas Chacón
Presidente



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez
Vocal



Lic. Laura Olivia Fuentes Lara
Vocal



Dr. Antonio Francisco Aguilera Carbó
Vocal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Agosto 2014

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, por dejarme recorrer un camino iluminado de enseñanza y alegría, por la sabiduría que me diste y por la tenacidad de buscar siempre lo mejor y poder lograrlo.

A mi “ALMA MATER”. Gracias a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de alcanzar esta meta, gracias a los profesores e investigadores que a lo largo de mi carrera se esmeraron por dar lo mejor para mi formación profesional, y por transmitirme sus amplios conocimientos y las experiencias vividas.

A mis asesores, M.C. Xóchitl Ruelas Chacón, por dirigir esta tesis, por confiar en mí desde el inicio. Por su dedicación profesional, aportaciones teóricas, experiencias y consejos. Gracias por la exigencia y rigurosidad que han sido claves en este trabajo. Sin duda alguna, sin su dedicación y disponibilidad, no hubiera podido lograr esta meta.

A la Lic. Laura Olivia Fuentes Lara por su apoyo y sus conocimientos que me fueron de gran ayuda.

Al M.C Luis Rodríguez Gutiérrez por su colaboración y disposición brindado en este trabajo de investigación.

Al Dr. Antonio Francisco Aguilera Carbó y al M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla por sus conocimientos y sugerencias para la culminación de este proyecto.

DEDICATORIAS

*A mis Padres, **Rafael y Gloria**, pilar fundamental en mi vida, con mucho cariño y sobre todo amor, les dedico todo mi esfuerzo en reconocimiento a todo el sacrificio puesto para que yo pudiera llegar a esta meta, se merecen esto y mucho más. Gracias Padres por su gran corazón y capacidad de entrega, por enseñarme a nunca bajar los brazos aun cuando todo se complique, por su dedicación y palabras de aliento. Pero sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir. Los amo.*

*A mi madre **Gloría Martínez Flores** por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, por la paciencia que has tenido para enseñarme, por tus cuidados y el tiempo que hemos vivido juntas, por los regaños que merecía y que en su momento no entendía. Gracias por darme tu cariño y amor desde que nací, sin tí seguro mi vida no sería tan maravillosa como lo es hoy. Te amo Mamita hermosa.*

*A mi padre **Rafael Martínez López**, por haberme dado de tu inteligencia y compartido tus experiencias, siempre he sabido que has luchado para darme lo mejor que has podido, por eso hoy te lo agradezco desde el fondo de mi corazón. Gracias Pa' por tu incondicional apoyo y por ser ejemplo de arduo trabajo y tenaz lucha en la vida. Te amo Papi.*

A mis Hermanos Jesús y Anaí por ser parte fundamental de mi vida y porque juntos aprendimos a vivir, crecimos como cómplices día a día y somos amigos incondicionales de toda la vida, compartiendo triunfos y fracasos. Doy gracias a Dios por darme unos hermanos como ustedes. Los amo.

A mis Abuelos porque con su apoyo moral me han impulsado a seguir adelante a lo largo de toda mi vida. Los quiero mucho.

A mis amigas Idalia y Lucrecia que me han brindado desinteresadamente su valiosa amistad. Gracias por aceptarme como soy, por soportarme, porque juntas hemos hecho realidad este sueño. Las quiero niñas.

A Wiliam Morales Bartolón, por ser parte muy importante en mi vida, por apoyarme en las buenas y en las malas. Gracias por la paciencia, comprensión y amor incondicional.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	III
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
RESUMEN	IX
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Hipótesis	3
1.4 Justificación	3
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Películas comestibles y recubrimientos biodegradables.....	4
2.2 Películas a base de carbohidratos.....	5
2.2.1 Base Polimérica	5
2.2.2 Hidrocoloides.....	6
2.2.3 Polisacáridos.....	6
2.3 Películas a base de proteínas.....	15
2.3.3 Proteína de soya	15
2.3.4 Proteínas de leche	16
2.3.5 Gelatina.....	17
2.3.6 Gluten de trigo.....	17
2.4 Películas a partir de mezclas entre biopolímeros	18
2.5 Incorporación de compuestos lipídicos en películas.....	18
2.6 Plastificantes.....	19
2.6.1 Glicerol (glicerina)	21

2.7	Mecanismos de formación de películas comestibles	23
2.8	Técnicas de aplicación.....	24
2.9	Evaluación Sensorial	26
2.9.1	Definición	27
2.9.2	Atributos sensoriales	28
2.9.3	Tipos de pruebas.....	29
2.9.4	Panel de jueces.....	31
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		34
3.1	Materiales	34
3.2	Métodos	34
3.2.1	Elaboración y caracterización de películas	34
3.2.2	Propiedades físicas de las formulaciones	36
3.3.3	Análisis sensorial.....	41
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		42
4.1	Análisis físicos de películas a base de alginato, pectina y glicerol	42
4.1.1	Grosor de las películas.....	42
4.1.2	Color de las películas	44
4.1.3	Transmitancia.....	46
4.1.4	Opacidad.....	47
4.1.5	Permeabilidad al vapor de agua.....	48
4.1.6	Solubilidad.....	50
4.1.7	Humedad.....	51
4.2	Evaluación sensorial.....	53
4.2.1	Aceptación global	54
4.2.2	Color	55
4.2.3	Sabor.....	56
4.2.4	Pegajosidad.....	57
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES		59
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFIA		61
CAPÍTULO VII. ANEXOS		70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo "caja de huevo" que describe la estructura del alginato	9
Figura 2. Región de la cadena lineal de la estructura de la pectina.....	13
Figura 3. Estructura del glicerol	22
Figura 4. Secado de las películas	36
Figura 5. Medición de color.....	36
Figura 6. Medición de grosor	37
Figura 7. Medición de propiedades ópticas (Absorbancia)	37
Figura 8. Charolas de aluminio con películas	38
Figura 9. Celdas de acrílico con películas para la PVA	40
Figura 10. Análisis sensorial	41
Figura 11. Comportamiento de grosor en las películas.....	43
Figura 12. Comportamiento de transmitancia en las películas	46
Figura 13. Comportamiento de permeabilidad en las películas	49
Figura 14. Comportamiento de solubilidad en las películas	50
Figura 15. Comportamiento de la apariencia global respecto a la concentración de Alginato/Pectina/Glicerol (%)	54
Figura 16. Comportamiento de color respecto a la concentración de Alginato/Pectina/Glicerol (%)	55
Figura 17. Comportamiento de sabor respecto a la concentración de Alginato/Pectina/Glicerol (%)	56
Figura 18. Comportamiento de pegajosidad respecto a la concentración de Alginato/Pectina/Glicerol (%)	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Condiciones de elaboración de las películas	35
Cuadro 2. Parámetros de color en las películas de alginato/pectina/glicerol (%)	45
Cuadro 3. Valores de opacidad en las películas de alginato/pectina y glicerol ..	47
Cuadro 4. Contenido de humedad de las películas elaboradas con alginato/pectina/ glicerol (%)	52

RESUMEN

Debido a la creciente preocupación de sustituir empaques plásticos por empaques biodegradables y a la búsqueda de tecnologías para prolongar la vida de anaquel en los alimentos, existen diversos estudios de películas. Las películas obtenidas con polisacáridos son una opción atractiva porque estos compuestos son abundantes en la naturaleza y renovables, además provienen de diversas fuentes. El objetivo del presente trabajo es investigar el efecto de la concentración de glicerol en las características ópticas y de permeabilidad al vapor de agua sobre las películas elaboradas con una mezcla de alginato y pectina.

El presente trabajo de investigación se realizó en dos etapas. La primera consistió en estudiar las propiedades físicas como grosor, color, opacidad, porcentaje de transmitancia, solubilidad, humedad y permeabilidad al vapor de agua de las películas compuestas a base de una mezcla de alginato y pectina en diferentes proporciones, agregando glicerol como plastificante.

Las propiedades de las películas dependieron de las concentraciones de los tres compuestos ya mencionados. A través de la metodología usada y el análisis estadístico, se interpretaron los resultados de las variables dependientes. Los parámetros de grosor, % de transmitancia y opacidad, no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$), para solubilidad si hubo diferencia significativa ($P < 0.05$), ya que las películas eran muy fáciles de solubilizar. En cuanto a color y humedad, ambas desplegaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en donde los valores de color fueron afectados por el factor a* proporcionando color verdoso (no apreciable visualmente), y el factor b* que daba un color ligeramente amarillento, y para humedad, los valores rebasaban el 100%, indicando que absorben gran cantidad de agua. Mientras que para el parámetro de permeabilidad al vapor de agua, no hubo efecto conjunto ($P > 0.05$), en este factor,

la adición del glicerol provoca que las películas sean más permeables, debido a su capacidad hidrófila.

La segunda etapa fue la evaluación sensorial de las películas comestibles, donde, de acuerdo a los resultados obtenidos, no hubo diferencia significativa ($P>0.05$) para los análisis de sabor, aceptación global y pegajosidad, mientras que para el color si existió diferencia significativa ($P<0.05$), ya que presentaban un color sutilmente amarillento. Sin embargo, de acuerdo a la escala promedio de la evaluación, hubo una buena aceptación para nuestras películas.

Palabras claves: películas comestibles, alginato, pectina, glicerol, propiedades físicas, evaluación sensorial.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Una película comestible es una matriz preformada, delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes del mismo. Dichas soluciones formadoras de películas comestibles pueden estar conformadas por un polisacárido, un compuesto de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de los mismos (Slavutsky *et al.*, 2014).

El empaque desempeña un papel fundamental sobre la conservación, distribución y marketing. Algunas de sus funciones son contener el alimento, y protegerlo de la acción física, mecánica, química y microbiológica. Las propiedades que ofrecen las películas comestibles dependen de los componentes de los cuales estén elaborados (Arredondo, 2012).

Arredondo (2014), clasifica 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, acilgliceroles y ácidos grasos. Y las mezclas que contienen componentes lipídicos e hidrocoloides. Los mencionan que dependiendo del tipo de componente dependerán las propiedades de cada película.

En general, las películas a base de proteínas son barreras excelentes al oxígeno, dióxido de carbono y a algunos aromas. Sin embargo, sus propiedades mecánicas no son tan buenas. Aunque las películas hechas a base de carbohidratos presentan buenas propiedades mecánicas y a demás son barreras eficientes contra compuestos de baja polaridad, dichas películas ofrecen una buena barrera contra la humedad (Oregel, 2013).

Con la introducción de materiales hidrofobicos y plastificantes, se ha tratado de mejorar las propiedades mecánicas de películas a base de carbohidratos. Los plastificantes son sustancias de bajo peso molecular que al ser incorporadas incrementan la flexibilidad de la película (Oregel, 2013).

En vista de que las películas de un solo componente presentan desventajas, ya sea por propiedades mecánicas o de barrera a gases, se han intentado mejorar sus propiedades mediante el uso de mezclas entre dos o más compuestos (Oregel 2013). Existen muy pocos estudios en cuanto a películas elaboradas con mezclas de alginato, pectina y glicerol, de aquí la necesidad de contribuir con más información sobre el comportamiento y características de películas a partir de estos compuestos.

El objetivo de este trabajo fue la investigación de las propiedades físicas que incluyen el grosor, color, permeabilidad al vapor de agua, humedad, % de transmitancia, opacidad y solubilidad. Así como la evaluación sensorial de las películas comestibles compuestos a base de alginato y pectina adicionando glicerol en diferentes concentraciones.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Investigar el efecto de la concentración de glicerol sobre las características ópticas y la permeabilidad al vapor de agua sobre las películas elaboradas con una mezcla de alginato y pectina.

1.2.2 Objetivos específicos

- Formular películas utilizando 10, 20 y 30% de glicerol, y variando el porcentaje de pectina (10, 20, 30, 40 y 50%) y de alginato (90, 80, 70, 60 y 50%) respectivamente.

- Analizar color, contenido de humedad, porcentaje de solubilidad, grosor y permeabilidad al vapor de agua a 75, 85 y 100% de humedad relativa de cada formulación.
- Evaluar sensorialmente las diferentes formulaciones.

1.3 Hipótesis

La concentración de alginato, pectina y glicerol influyen sobre las características físicas y sensoriales de las películas compuestas elaboradas.

1.4 Justificación

Actualmente, el consumidor demanda productos alimenticios de calidad y de consumo inmediato que contengan solo ingredientes naturales; el éxito de estos productos se debe a sus buenas características sensoriales y nutricionales.

El uso de películas comestibles a base de biopolímeros ha tomado un auge importante en la industria de los alimentos debido a muchos factores como sus características de biodegradabilidad, que contribuyen a disminuir la contaminación ambiental, su potencial para evitar la alteración de los alimentos y la posibilidad de generar nuevos mercados a productos derivados de fuentes naturales renovables. Las películas y recubrimientos comestibles han demostrado ser efectivos en la conservación de muchos alimentos, especialmente en frutas y hortalizas, por lo que son muy utilizados para mantener la apariencia fresca, firmeza, brillo, y así aumentar la calidad del producto y su valor comercial.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Películas comestibles y recubrimientos biodegradables

Según Miramont (2012), la aplicación de las películas comestibles, para protección de los alimentos con el fin de prolongar su vida de anaquel no es nada nuevo, menciona que desde los siglos XII y XIII en China se utilizaban ceras para recubrir a los cítricos retardando su desecación. En el siglo XVI sucedía que el recubrimiento de las frutas se llevan a cabo con parafinas previniendo la perdida de humedad del alimento. Desde más de 50 años se ha estudiado y reportado en la literatura el uso de las películas comestibles, para extender el tiempo de vida de anaquel, incrementar la calidad debido a la frescura, para productos congelados y procesados.

En el siglo XIX se emplearon películas a base de gelatina para la conservación de carnes y otros alimentos, alrededor de los 30's ya se encontraban comercialmente disponibles ceras parafínicas que se derretían con el calor para recubrimientos de cítricos. A principios de los años 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.

En los últimos años, la creciente demanda de alimentos que conserven al máximo sus propiedades organolépticas, ha fomentado una mejora continua de los procesos empleados en la industria alimentaria, con el objetivo de asegurar su conservación y sin afectar su calidad y vida útil (Miramont, 2012).

El desarrollo de películas comestibles biodegradables, ha recibido mayor atención porque guía o conduce a la extensión de la vida de anaquel de los

alimentos. Una película comestible es definida como una o varias capas delgadas de un material que puede ser consumido por los seres vivos y que a la vez pueden actuar como barrera a la transferencia de agua, gases y solutos de alimentos. El objetivo es producir películas naturales a base de biopolímeros, con propiedades específicas, las cuales puedan ser consumidas con el alimento. La función de estos materiales es controlar la pérdida de humedad y el intercambio respiratorio por la permeabilidad selectiva a los gases (Aguilar, 2005). Dichas películas pueden también mejorar las propiedades mecánicas y controlar la pérdida de sabores y aromas volátiles en muchos alimentos. La elaboración de este tipo de materiales representa una vía mediante la cual se pueden incorporar aditivos al alimento, con la finalidad de alargar su conservación y/o sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas.

Una variedad de polímeros naturales tales como polisacáridos, proteínas y lípidos, han sido utilizados, tanto solos como en combinación, para producir películas comestibles (Aguilar, 2005).

2.2 Películas a base de carbohidratos

2.2.1 Base Polimérica

Los envases comestibles pueden agruparse en tres tipos en función de la base polimérica utilizada: hidrocoloides, lípidos y mezclas o sistemas multicomponentes. Los hidrocoloides incluyen polisacáridos (derivados de celulosa, alginatos, pectinas y almidones entre otros) y proteínas (del lactosuero, de soya, ovoalbúmina, etc.). Los lípidos incluyen ceras, acilgliceroles y ácidos grasos (Ayola, 2010).

2.2.2 Hidrocoloides

Se denominan comúnmente hidrocoloides a los biopolímeros de elevado peso molecular y que se dispersan en agua. Los polisacáridos y las proteínas son polímeros que forman redes moleculares cohesionadas por una alta interacción entre sus moléculas (puentes de hidrogeno, fuerza de Van der Waals, London, Debye, de cristalización o de valencia primaria) (Rodríguez *et al.*, 2003). Su cohesión molecular les confiere buenas propiedades mecánicas, pudiendo ejercer de matriz estructural del recubrimiento y buenas propiedades de barrera frente a los gases (O₂ y CO₂). Sin embargo, la polaridad de estos polímeros hace que sean afines al agua y que esta se integre fácilmente en su estructura estableciendo puentes de hidrogeno con las moléculas de polímero, reemplazando las uniones entre las moléculas del propio polímero. De esta manera, el polímero pierde cohesión y aumenta la permeabilidad tanto al agua como a los gases (Rodríguez *et al.*, 2003).

2.2.3 Polisacáridos

Los carbohidratos son ampliamente usados en la industria de alimentos como estabilizantes, espesantes y gelificantes. Además, y gracias a sus propiedades filmógenas, estos compuestos también pueden utilizarse en la elaboración de recubrimientos o películas comestibles. En general los carbohidratos producen películas con buena propiedades mecánicas y son barreras eficientes contra compuestos de baja polaridad. Sin embargo su naturaleza hidrofílica hace que presenten una baja resistencia a la pérdida de agua Su selectividad en cuanto a la permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono, condiciona la creación de atmosferas modificadas en el interior del alimento lo que se traduce a un aumento de la vida de anaquel del producto.

La formación de películas de polisacáridos implica frecuentemente la formación de un gel y/o la evaporación del solvente. Los hidratos de carbono, incluyendo almidón, derivados de la celulosa, pululano, quitosan, alginato, pectina,

carragenina y goma gelán, entre otros, han sido estudiados como materiales formadores de películas comestibles (Aguilar, 2005). Estos compuestos tienen las características de ser polímeros de cadena larga, solubles en agua y de producir un fuerte aumento en la viscosidad al dispersarse en ella.

2.2.3.1 Goma gelano

La goma gelano es un polisacárido extracelular, secretado por la bacteria *Pseudomonas elodea*, que forma geles de estructura tridimensional con cationes monovalentes y divalentes. Este carbohidrato es cada vez más usado en la industria alimentaria como texturizante y agente gelificante. La goma gelano aparenta tener un potencial excelente como agente formador de películas, ya que puede producir recubrimientos biodegradables con buena claridez y excelentes propiedades mecánicas, lo que permitirá extender la vida útil de ciertos alimentos y reducir la contaminación ambiental (Aguilar, 2005).

2.2.3.2 Quitosano

El quitosano es un polisacárido catiónico (derivado de la quitina) de alto peso molecular, el cual presenta propiedades antifúngicas. Las películas elaboradas con este polisacárido son claras, resistentes y flexibles y presentan buenas barreras al oxígeno. El uso de este material en recubrimientos puede proteger a los alimentos contra ataques microbianos y modificar la atmósfera de frutas frescas (Quintero *et al.*, 2014).

2.2.3.3 Pululano

El pululano es un polisacárido extracelular, producido por el microorganismo *Aureobasidium pullulans*, comercialmente utilizado. Este biopolímero es capaz de producir películas muy estables, transparentes, sólidas y resistentes a bajas temperaturas. Sus barreras contra grasas y aceites, así como contra el oxígeno, son excelentes. Las películas de pululano pueden utilizarse para el acondicionamiento o la protección por recubrimiento de diversos alimentos

congelados, deshidratados o de humedad intermedia. Además, los recubrimientos elaborados a partir de este polisacárido han sido utilizados para extender la vida de anaquel de frutos no climatéricos (Aguilar, 2005).

2.2.3.4 Almidón

Debido a su abundancia y bajo costo de producción, existe un gran interés en la utilización de almidón como componente de películas comestibles. Las películas elaboradas a partir de este carbohidrato son claras, flexibles, transparentes y presentan excelentes barreras al oxígeno. Sin embargo sus propiedades de barrera contra la humedad, no son tan buenas. En películas a base de almidón, la matriz o red es normalmente formada durante el secado de una dispersión gelatinizada debido a los puentes de hidrogeno, que se establecen en los grupos hidroxilo (Oregel, 2013).

2.2.3.5 Alginatos

Los alginatos son polisacáridos más abundantes presentes en las algas marinas. Comprenden hasta 40% de su peso seco. Son los componentes estructurales de la pared celular de las algas, cuya función principal es dar rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad de enlazar agua. Los alginatos son extraídos principalmente de tres especies de algas de marrones. Estas incluyen *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* y *Macrocystis pyrifera*. En su estado natural, los alginatos se presentan como una mezcla de sales de los cationes que comúnmente se localizan en el agua de mar, principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ . Las proporciones en las que estos iones están unidos al alginato dependen de su composición, así como de la selectividad de enlace de los cationes alcalinotérreos por el alginato (Avendaño-Romero *et al.*, 2013).

Los alginatos son una familia de polisacáridos lineales, conteniendo cantidades variables de ácido β -D- manurónico (M: 1,4-enlace ácido α -L-gulurónico (G: 1.4-

enlace ácido α -L-gulopiranosilurónico 1C_4). Su composición (dada por la relación característica manurónico/gulurónico M/G) y secuencias varían dependiendo de la fuente de la cual proviene el polisacárido. Este polímero debe su carácter polianiónico a los grupos carboxilo que aparecen a lo largo de la cadena. La composición y extensión de las secuencias y el peso molecular determinan las propiedades físicas de los alginatos. Estos se agrupan en o se distribuyen en secciones constituyendo homopolímeros tipo bloques G-(-GGG-), bloques M (-MMM-) o heteropolímeros en los que los bloques M y G se alternan (-MGMG-). Tanto la distribución de los monómeros en la cadena polimérica como la larga y volumen de los grupos carboxílicos, confieren al gel formado características de flexibilidad o rigidez dependiendo del contenido de gulurónico. Si en la estructura polimérica hay mayor cantidad de bloques G, generalmente el gel es duro y frágil, mientras que con la presencia de mayor proporción de bloques M, el gel formado se presenta suave y elástico. Los bloques de secuencias MM, MG, se encuentran unidos por enlaces glucosídicos β (1-4); y los bloques GG, GM, unidos por enlaces glucosídicos α (1-4). En la figura 1 se puede observar la estructura del alginato, conocido como "caja de huevo", (Avendaño-Romero *et al.*, 2013).

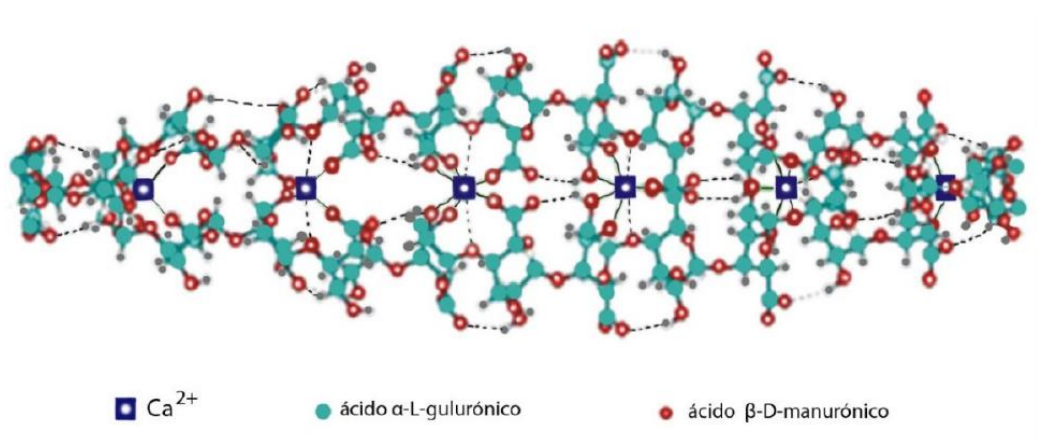


Figura 1. Modelo "caja de huevo" que describe la estructura del alginato

La viscosidad de las soluciones de alginatos depende de la longitud de las moléculas, cuanto mayor sea la longitud de las cadenas, más alta será la viscosidad. Al disolverse en agua, las moléculas se hidratan y aumenta su viscosidad. En una solución acida el alginato formara un gel, ya que a pH bajo los grupos carboxílicos de los ácidos urónicos aceptan protones, lo que hace que se favorezca la formación de enlaces de los bloques G. la hidratación del ácido algínico a pH bajo conduce a la formación de un gel de alta viscosidad. En un medio acido, la viscosidad se va incrementando por la disminución de la solubilidad del ácido algínico libre, precipitando en forma de gel a un pH en el intervalo de 3 a 4 (Avendaño-Romero *et al.*, 2013).

- **Obtención de alginato**

La obtención del alginato se basa en un conjunto de reacciones de intercambio iónico para la extracción del ácido algínico del alga en forma de alginato de sodio. El proceso se ido modificando y optimizando con el tiempo, permitiéndola producción de alginato con mayor calidad.

Existen dos procesos básicos para la obtención de alginato de sodio. En el primero, los principales intermediarios son el alginato de calcio y ácido algínico. En el segundo, no se forma alginato de calcio, solo ácido algínico. En ambos procesos, durante la etapa de conversión del ácido algínico a alginato de sodio se usa agua o alcohol como solvente, obteniendo resultados muy diferentes. En el proceso para alginato de calcio normalmente el solvente es agua y en el proceso para ácido algínico se emplea más el alcohol, debido al alto contenido de agua en el ácido algínico. El ácido algínico y el alcohol pueden ser mezclados en un recipiente con agitación, añadiendo la cantidad calculada del agente alcalino deseado, o bien, añadiéndolo simultáneamente con el alcohol. En algunas patentes se describen estos procesos, pero no se proporcionan detalles de la concentración o el volumen del solvente empleado. El método describe que el ácido algínico se lava con agua hasta obtener un pH de 4 y se mezcla con carbonato de sodio hasta obtener un pH de 7. Se incorpora el álcali dependiendo de su naturaleza: a) se añade carbonato de sodio, potasio o magnesio como

polvo seco y molido; y b) los hidróxidos de potasio o sodio se añaden en la forma de amoníaco-agua, 28-29%, o como un gas en un recipiente de presión.

La obtención de alginato de sodio se inicia con la molienda del material; enseguida el alga molida y seca es hidratada con una solución de formaldehído. Posteriormente se realiza la pre-extracción con ácido clorhídrico, para convertir las sales de alginato a ácido algínico. La extracción alcalina se puede realizar también con carbonato de sodio a alta temperatura para convertir el ácido algínico a su forma soluble, prosiguiendo con la precipitación con cloruro de calcio, para obtener alginato de calcio. Por último, se realiza el prensado, secado y reducción del producto obtenido a un tamaño apropiado, para su empaquetamiento. A partir de este proceso general, se realizan cambios químicos y físicos para obtener productos específicos para los diferentes usos en la industria alimentaria (Avendaño-Romero *et al.*, 2013).

- **Propiedades del alginato**

Existen diferentes estudios que indican la seguridad del uso de los alginatos en los alimentos. Los alginatos de sodio, potasio, calcio y amonio, ácido algínico y el alginato de propilenglicol, son aditivos alimenticios reconocidos como inocuos y seguros, según la *Food and Drug Administration* de los Estados Unidos (FDA). De la misma manera, están enlistados en el *Codex Alimentarius* que provee la *Food and Agriculture Organization* (FAO) y la *World Health Organization* (WHO) de las Naciones Unidas, donde se establece que los límites de ingesta diaria de ácido algínico y de sus sales derivadas para los humanos, es de 50 mg/kg de peso corporal, y del alginato de propilenglicol de 25 mg/kg de peso corporal. La aplicación de los alginatos se basa en cuatro propiedades principales. La primera concierne a su habilidad como espesante al ser disueltos en agua, generando un aumento en la viscosidad de la solución en la que se disuelven. La segunda en su capacidad de retener agua. La tercera se debe a su habilidad de formar un gel a partir de una serie de reacciones químicas de intercambio iónico que dan lugar a la formación de enlaces entre las cadenas adyacentes del polímero del alginato;

particularmente se realiza un intercambio de iones sodio por cationes divalentes o trivalentes. La cuarta se basa en la propiedad de formar películas.

La capacidad del alginato como estabilizante se mide en función de su grado de polimerización (GP), el cual es una medida del peso molecular promedio de las cadenas que lo constituyen y se relaciona directamente con la viscosidad de sus soluciones. La pérdida de viscosidad en el alimento es una medida del grado de despolimerización del alginato.

En cuanto a la capacidad gelificante de los alginatos, la cual se usa ampliamente, se sabe que la formación del gel se inicia a partir de una solución de sal de alginato y una fuente de calcio externa o interna, desde donde el ion calcio se difunde hasta alcanzar la cadena polimérica, como consecuencia de esta unión se produce un reordenamiento estructural en el espacio, resultando en un material sólido con las características de un gel. El grado de gelificación depende de la hidratación del alginato, la concentración del ion calcio y la proporción de ácido gulurónico.

Las películas de alginato pueden ser de dos tipos con diferentes propiedades: películas solubles en agua utilizando alginato de sodio y películas solubles en aceite utilizando alginato de calcio. Las películas solubles en agua se pueden formar por evaporación en una solución de alginato o por extrusión de una solución de alginato en un no-disolvente que se mezcla con agua, tal acetona o etanol. Estas películas son impermeables a la grasa y ceras, pero permiten que el vapor de agua pase a través de ellas; son quebradizas cuando están secas, pero pueden ser plastificadas con glicerol, sorbitol o urea.

El alginato tiene varios usos en la industria alimentaria gracias a las propiedades ya antes mencionadas. Las películas a base de alginato se han usado para ayudar a conservar diferentes productos mínimamente procesados. El alginato, al ser un material polimérico biocompatible, no tóxico y degradable, resulta adecuado para muchas aplicaciones en la industria de alimentos (Avendaño-Romero *et al.*, 2013).

2.2.3.6 Pectina

Las pectinas son polisacáridos de origen vegetal, heterogéneos, higroscópicos y solubles en ácidos y agua, con propiedades de gelificación, estabilización de emulsiones y aporte de fibra nutricional. Se encuentran en la pared celular primaria en las regiones intercelulares de frutas y vegetales.

Estructuralmente, las pectinas están constituidas por un esqueleto de residuos de ácido galacturónico (AGA) unidos entre sí por enlaces α -1,4 (Fishman y Cooke, 2009). Algunos de los grupos carboxílicos de las moléculas de AGA en las cadenas de pectina están metil esterificados y el porcentaje de grupos esterificados se expresa como GE (grado de esterificación) (Figura 2). Las pectinas se han dividido en dos grandes grupos, dependiendo de su GE, como pectinas de alto metoxilo (PAM) con un GE mayor de 50% y pectinas de bajo metoxilo (PBM) con un GE menor a 50% (Aldana-Villarruel *et al.*, 2011).

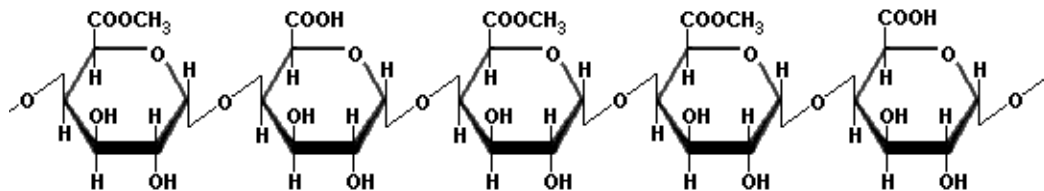


Figura 2. Región de la cadena lineal de la estructura de la pectina

- **Obtención de la pectina**

Debido a que las pectinas son compuestos que generalmente se emplean en alimentos, es necesario extraerlas del tejido vegetal mediante el uso de reactivos, disolventes y equipos que no dejen residuos tóxicos en el producto final. Por ello, el proceso de extracción debe cumplir con estas necesidades; además, las propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída, tales como pH, porcentaje de cenizas, grado de gelificación y grado de esterificación entre otros, deben estar

dentro del rango apropiado para que las cualidades de la pectina puedan aprovecharse (Aldana-Villarruel *et al.*, 2011).

Las pectinas se han extraído y caracterizado de muchos frutos y vegetales, incluyendo durazno, manzana, limón y naranja. Sin embargo, las fuentes comerciales de pectina son casi exclusivamente a partir de pomasa de manzana (15-18% de peso seco) y de las cascara de cítricos (20-30% de peso seco) (Aldana-Villarruel *et al.*, 2011).

Existen diferentes técnicas para la extracción de pectina a través de tejidos vegetales, en las cuales pueden utilizarse procedimientos físico-químicos, o enzimáticos. Con la finalidad de obtener un mayor rendimiento durante la extracción de sustancias pectinas comúnmente se realizan pre-tratamientos al material vegetal para facilitar la extracción. Es imposible extraer pectina libre del tejido vegetal, porque existe en una forma insoluble conocida como protopectina (Aldana-Villarruel *et al.*, 2011).

Extracción de pectinas asistida por microondas.

Se han establecido nuevos métodos en donde la pectina puede extraerse en menores tiempos y con mejor calidad y rendimiento, como es el caso de la extracción asistida por microondas, que han mostrado tener mayor rendimiento y calidad de pectinas en menor tiempo. Kratchnova *et al.* (1996) reportaron que el pre-tratamiento del material vegetal con calentamiento con microondas permite incrementar el rendimiento de pectina durante su extracción; Fishman *et al.* (2000) confirmaron el efecto favorable del pre tratamiento con microondas durante la extracción de pectina (en cascara de naranja). Algunos autores sugieren que el efecto del calentamiento por microondas sobre el rendimiento y la calidad de las pectinas extraídas, se debe primero a la desintegración parcial del tejido vegetal y a la hidrólisis de protopectina y en segundo lugar, a la rápida inactivación de enzimas pectolíticas (Aldana-Villarruel *et al.*, 2011).

- **Propiedades de la pectina**

Para la formación de geles a partir de pectinas de alto metoxilo (PAM), es necesaria la incorporación de grandes cantidades de azúcar y un pH bajo. Por otra parte, las pectinas de bajo metoxilo (PBM) requieren de iones de calcio para formar geles. Estas pectinas gelifican por los enlaces iónicos entre el calcio y los grupos carboxilo de las pectinas a un pH de 3.2 a 4 (Aldana-Villarruel *et al.*, 2011).

Las pectinas son moléculas con potencial aplicación como empaque de alimentos, ya que de acuerdo a su naturaleza, presentan biodegradabilidad. Dicha aplicación resulta de gran importancia debido a la problemática ambiental ocasionada por el uso excesivo de polímeros sintéticos.

2.3 Películas a base de proteínas

Los materiales a base de proteínas consisten en redes macromoleculares continuas, de baja humedad y más o menos ordenadas. Las interacciones entre proteínas necesitan ser numerosas y uniformes. La probabilidad de formación de enlaces intermoleculares depende de la forma de la proteína y de las condiciones del proceso. Proteínas de altos pesos moleculares (glutenina) y proteínas fibrosas (colágeno) generalmente forman películas con buenas propiedades mecánicas (Montalvo *et al.*, 2012).

2.3.3 Proteína de soya

Entre las proteínas formadoras de películas, las de la soya han sido estudiadas por su gran capacidad para formar películas y sus buenas propiedades de barrera al oxígeno y a los lípidos, en bajas humedades relativas. Los enlaces disulfuro intermoleculares, las interacciones hidrofóbicas y los puentes de hidrogeno son, el orden de importancia, las principales fuerzas asociativas involucradas en la formación de películas de proteínas de soya (Montalvo *et al.*, 2012).

2.3.4 Proteínas de leche

Las características únicas de las proteínas de la leche hacen de ellas excelentes candidatas para incorporarlas en películas y recubrimientos, y controlar así, la transferencia de masa en sistemas alimenticios. Las proteínas de leche, además de poseer un excelente valor nutricional, tienen numerosas propiedades funcionales. Su solubilidad en agua y su capacidad para actuar como emulsificantes son dos de sus propiedades importantes en la formación de películas. La leche contiene aproximadamente 27 g/L de caseínas, lo que representa el 80% del total de las proteínas de la leche. Las soluciones acuosas de caseínas pueden formar películas transparentes, flexibles e insípidas. Los caseinatos forman fácilmente películas debido a la conformación aleatoria de sus cadenas y a la habilidad para formar enlaces de hidrogeno, electrostáticos e hidrofobicos intermoleculares. Según Montalvo *et al.*, 2012 estos compuestos no requieren de la desnaturalización, ni de la presencia de plastificantes para formar películas. Estos autores afirman que las películas a base de caseinatos tienden a presentar permeabilidades más bajas que las películas elaboradas con proteínas de suero de leche.

La proteína del suero de leche está formada por diferentes fracciones: β -lactoglobulina, α -lactoalbumina, seroalbumina bovina y algunas inmunoglobulinas. La β -lactoglobulina es el mayor componente (50-60%) de la proteína del suero. Estas proteínas son muy sensibles a las altas temperaturas (son las primeras en desnaturalizarse) y, en menor grado, al pH ácido, debido a que su mecanismo de estabilidad es por hidratación y no por carga eléctrica.

De acuerdo con Montalvo *et al.*, (2012), las seroproteínas son capaces de formar películas transparentes y recubrimientos con excelentes propiedades de barrera al oxígeno, aromas y aceites a bajas humedades relativas.

2.3.5 Gelatina

La gelatina es una de las proteínas de origen animal más ampliamente utilizada como ingrediente en la elaboración de un gran número de productos, incluyendo algunos que no son alimentos. Esta proteína es obtenida a partir del colágeno, mediante hidrólisis ácida o alcalina. El colágeno es la mayor proteína estructural de muchos tejidos conectivos, tales como piel, tendón y hueso. Las características más remarcables de la gelatina son su solubilidad en agua y la habilidad que tienen para formar geles termorreversibles (Aguilar, 2005).

De acuerdo con Aguilar (2005), las películas comestibles a base de gelatina aparentan tener un futuro promisorio como materiales de empaque, los cuales pueden llegar a sustituir a las películas plásticas sintéticas. Se han reportado películas de gelatina, las cuales presentan buenas propiedades de barrera bajo condiciones de baja humedad relativa. Sin embargo, se sugieren el uso de materiales hidrófobos para reducir la sensibilidad a la humedad, sobre todo en ambientes húmedos.

2.3.6 Gluten de trigo

Estas películas tienen muy buenas propiedades mecánicas y ópticas, además de que presentan buenas barreras al O₂ y al CO₂; sin embargo sus propiedades contra la transferencia al vapor de agua son relativamente pobres. Las películas de gluten de trigo han sido utilizadas para encapsular aditivos, mejorar la calidad de los productos derivados de cereales y mantener aditivos antimicrobianos o antioxidantes sobre la superficie de los alimentos (Bósquez, 2003).

Bósquez (2003), menciona que se ha estudiado la influencia de las variables del proceso en las propiedades de películas a base de gluten de trigo. El pH y la concentración de etanol tuvieron fuertes efectos interactivos en la opacidad, solubilidad en agua y permeabilidad al vapor de agua de las películas. Por otro

lado, las propiedades mecánicas tuvieron mayor dependencia de la concentración del gluten y el pH. Aunque se consideran viable el uso del gluten de trigo como material formador de películas, sugieren el uso de materiales lipídicos para mejorar sus propiedades de barrera a la humedad.

2.4 Películas a partir de mezclas entre biopolímeros

El objetivo de emplear mezclas entre biopolímeros para la elaboración de películas comestibles y recubrimientos biodegradables, es contrarrestar las deficiencias propias de cada componente y así poder mejorar las propiedades y características del material resultante (Domínguez-Courtney *et al*, 2012). Una de las propiedades que se buscan mejorar, son las propiedades mecánicas, las cuales dependen del tipo de material utilizado y especialmente de su cohesión estructural. La cohesión es el resultado de la habilidad del polímero para formar fuertes y/o numerosos enlaces moleculares entre cadenas poliméricas, dificultando así su separación (Domínguez-Courtney *et al*, 2012).

2.5 Incorporación de compuestos lipídicos en películas

La naturaleza hidrofóbica de los compuestos lipídicos explica las excelentes propiedades de barrera frente a la humedad de las películas. Sin embargo, su falta de estabilidad e integridad estructural hacen que presenten malas propiedades mecánicas, formando recubrimientos quebradizos (Durango *et al.*, 2012). La permeabilidad al vapor de agua disminuye cuando la concentración de fase hidrofóbica aumenta en la composición de la envuelta. Por regla general, se observa el siguiente orden de eficacia en sentido decreciente como barrera frente a la humedad: ceras > grasas sólidas > lecitina, acetoglicéridos > aceites líquidos (Arredondo, 2012).

No obstante, su uso de forma individual, sin mezclar con otras sustancias, presentan limitaciones debido a que la mayoría carecen de suficiente integridad y estabilidad estructural. Por ello suelen requerir de presencia de una matriz que actúe como soporte. En este sentido, estudios sobre películas comestibles utilizando mezclas de compuestos lipídicos y proteínas o carbohidratos (material de soporte), se han realizado con la finalidad de aprovechar las características propias de cada material, mejorando las propiedades finales de las películas (Arredondo, 2012).

2.6 Plastificantes

Un plastificante es definido como una sustancia estable, no volátil y con alto punto de ebullición, la cual, cuando es adicionada a otro material, cambia las propiedades físicas y/o mecánica de ese material. Los plastificantes se consideran aditivos muy importantes que se pueden añadir en la elaboración de las películas comestibles con la finalidad de reducir la fragilidad e incrementar su flexibilidad (Domínguez-Courtney *et al*, 2012).

Los plastificantes usualmente son moléculas pequeñas relativamente no volátiles que disuelven las sustancias. Los polímeros u otras sustancias no poliméricas frecuentemente se plastifican para “ablandarlos”, lo que significa que los plastificantes separan las cadenas una de otra y de esta forma facilitan el movimiento (Durango *et al*, 2011).

Miramont (2012), menciona que el plastificante es un factor muy importante en la formulación de las películas comestibles ya que afectan las propiedades mecánicas y la permeabilidad de las películas. Los plastificantes alteran la estructura de las películas, la movilidad de la cadena y los coeficientes de difusión de gases o agua.

Los plastificantes son compuestos de baja volatilidad que pueden ser añadidos para impartir flexibilidad a una película polimérica (Durango *et al.*, 2011).

Según Rodríguez (2011), los plastificantes que se utilizan en la industria de los alimentos incluyen:

- Monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos (glucosa, jarabes de fructosa o glucosa, miel)
- Polioles (sorbitol, glicerol, polietilenglicoles y los derivados del glicerol).
- Lípidos y derivados (ácidos grasos, monoacilgliceroles, derivados éster, fosfolípidos y surfactantes).

Todos ellos son de naturaleza hidrofílica y reduce significativamente la propiedad de barrera al vapor de agua del recubrimiento. Por tanto en función a las características requeridas del recubrimiento, se pueden utilizar un tipo u otro de plastificante o una combinación de ambos (Rodríguez, 2011).

Los plastificantes deben ser compatibles con el polímero, permanentes en el sistema y eficientes en conseguir las propiedades deseables de la película (Rodríguez 2011).

La selección de un plastificante requiere la consideración de tres criterios básicos, a parte del coste (Rodríguez, 2011):

- a) La compatibilidad: depende de la polaridad, forma y tamaño del plastificante. Las mejores compatibilidades se observan cuando el plastificante y el polímero tienen una estructura química similar.
- b) La eficiencia: generalmente, los buenos plastificantes proporcionan una elevada plastificación a bajas concentraciones y presentan una elevada difusión e interacción con el polímero.
- c) La permanencia: depende del tamaño de la molécula y del coeficiente de difusión en el polímero.

Una de las propiedades que más se ve afectada por la incorporación de plastificantes en soluciones formadoras de películas, es la permeabilidad a los gases. Se ha observado incrementos en las permeabilidades al vapor de agua, O₂ y CO₂ de películas a base de polisacáridos y proteínas, a medida que la

concentración de plastificante aumenta (Mate y Krochta, 1996; Park y Chinnan, 1995; Arvanitoyannis *et al.*, 1997; Arvanitoyannis *et al.*, 1998; Lim *et al.*, 1999; Yang y Paulson 2000; Sobral *et al.*, 2001; Parra *et al.*, 2004; Turhan y Sahbaz, 2004). Respecto al tipo de plastificante utilizado, el idóneo debería mejorar la flexibilidad de las películas o recubrimientos ejerciendo el menor impacto posible sobre la permeabilidad al oxígeno (Aguilar, 2005).

Como ya se ha mencionado, la eficiencia del plastificante es un parámetro importante, ya que de esta depende la obtención de características deseables en las películas. Se han realizado algunos estudios con la finalidad de comparar y determinar la eficiencia de varios plastificantes, principalmente polioles. Mediante el análisis de las propiedades mecánicas y de barrera a gases se han establecido los mejores compuestos.

2.6.1 Glicerol (glicerina)

El **glicerol**, también conocido como glicerina o 1, 2,3 propanotriol, es un compuesto alcohólico con tres grupos $-OH$ (hidroxilos) (Fig.3). La palabra glicerol, procede del griego Glykos, que significa dulce. Posee un aspecto de líquido viscoso, no tiene color, pero si un característico olor, además de un sabor dulzón. Además el glicerol es un compuesto higroscópico, lo que quiere decir que tiene la capacidad de ceder o absorber la humedad presente en el medio ambiente que lo rodea. Además es fácilmente soluble en agua, y se descompone en ebullición, en la cual entra a una temperatura de $290^{\circ}C$. Es un compuesto líquido si se encuentra a temperatura ambiente ($25^{\circ}C$).

El glicerol se encuentra en todos los tipos de aceites, así como en las grasas animales o vegetales, siempre que éstas vayan asociadas a otros ácidos grasos como puede ser, por ejemplo, el oleico, o esteárico.

El glicerol está presente de manera combinada en todas las células de tipo animal y vegetal, formando parte de las membranas de las células a modo de fosfolípidos.

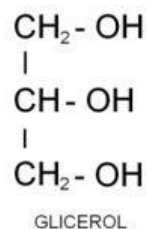


Figura 3. Estructura del glicerol

- **Obtención del glicerol**

El glicerol se obtiene mediante hidrólisis de grasas o sintéticamente a partir del propileno. Los principales componentes de casi todos los aceites y grasas animales y vegetales son triglicéridos de ácidos grasos. La hidrólisis de esos glicéridos produce ácidos grasos libres y glicerol. Se emplean dos técnicas: la hidrólisis alcalina (saponificación) y la hidrólisis neutra (fraccionamiento). En la saponificación, la grasa se hierve con hidróxido sódico y cloruro sódico, dando lugar a la formación de glicerol y sales sódicas de los ácidos grasos (jabones).

En la hidrólisis neutra, las grasas se hidrolizan en un horno o una autoclave a alta presión en un proceso semicontinuo o por lotes, o también en una torre a alta presión mediante una técnica de contracorriente continua. Existen dos procesos principales para la síntesis de glicerol a partir de propileno. En el primero, se trata el propileno con cloro para obtener cloruro de alilo, el cual reacciona con una solución de hipoclorito sódico para dar glicerol-diclorohidrina, a partir de la cual se obtiene el glicerol por hidrólisis alcalina. El segundo proceso consiste en oxidar el propileno para formar acroleína, la cual se reduce a alcohol alílico. Este compuesto puede hidroxilarse con peróxido de hidrógeno en solución acuosa para obtener glicerol directamente, o tratarse con hipoclorito sódico para obtener glicerol-monoclorohidrina que más tarde, mediante hidrólisis alcalina, se convierte en glicerol (Martin-Belloso *et al.*, 2014).

- **Propiedades del glicerol**

El glicerol actúa como plastificante, ya que ayudan a mantener la integridad de las películas, debido a que reducen su fragilidad, aumentando la flexibilidad y la resistencia a la rotura. Los requerimientos básicos para un plastificante en un sistema polimérico son su capacidad con el polímero formador de la red y su permanencia dentro de la estructura resultante, es decir no debe migrar a la superficie.

El plastificante se asocia fisicoquímicamente con la estructura del polímero, reduce la cohesión e interfiere con la asociación de las cadenas poliméricas facilitando su deslizamiento por lo que aumenta la flexibilidad de las películas (Martin-Belloso *et al.*, 2014).

2.7 Mecanismos de formación de películas comestibles

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

- La coacervación simple, en la que se consigue la formación de la película a partir del cambio de fase o precipitación de un hidrocoloide en disolución acuosa mediante modificación de alguna propiedad del disolvente (pH, carga eléctrica, etc.), o por adición de otro disolvente en el cual el polímero es insoluble.

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

2.8 Técnicas de aplicación

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 (Parzanese, 2014).

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 (Parzanese, 2014).

En el caso de productos que requieren una capa uniforme en una superficie irregular, la inmersión es la técnica que proporciona mejores resultados. Esta

técnica es la más utilizada en el recubrimiento de frutas, vegetales y productos cárnicos (Tharanathan, 2003). En el caso de frutas y verduras, la inmersión se realiza en tanques que contienen las formulaciones formadoras de cubiertas. Posterior a esto se procede a un escurrido y secado, dejando que una película delgada sea formada sobre la superficie del producto.

La aplicación de cubiertas por aspersion es el método convencional usado generalmente en muchos casos. Debido a la alta presión (60-80 psi) un menor gasto de solución formadora de película es requerido para obtener recubrimientos uniformes (Tharanathan, 2003).

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 así facilitar el proceso de secado (Pérez y Báez, 2003).

Otra técnica a emplear, frecuente en los usos no alimentarios de este tipo de sustancias, consiste en la preformación de la película antes de ser aplicada al alimento (Soliva y Martín, 2001). Las películas preformadas pueden fabricarse, a nivel industrial, según las técnicas empleadas comúnmente para ciertos materiales y para las películas no comestibles, tales como la extrusión, el moldeado o el laminado (Guilbert y Biquet, 1995).

Cabe hacer notar que en el caso de cubiertas aplicadas directamente al producto, existen dos condiciones relevantes: cohesión entre las moléculas del material de la cubierta y adhesión entre la cubierta y estructura de soporte. El grado de cohesión influye en las propiedades de barrera y mecánicas de las películas, de forma que una cohesión estructural elevada se traduce en una reducción de la flexibilidad, de la porosidad y de la permeabilidad a los gases y a los solutos (Guilbert y Biquet, 1995). La cohesión depende de la estructura química del biopolímero, del proceso de elaboración, parámetros empleados (temperatura, presión, tipo de solvente y dilución, técnica de aplicación, procedimiento de

eliminación del solvente, etc.), presencia de plastificantes, agentes ligantes y del espesor final de la película. La cohesión entre los componentes de las películas es favorecida por la presencia de polímeros ordenados de cadena larga (Guilbert *et al.*, 1996).

La adhesividad de la película sobre la superficie del alimento depende principalmente de su naturaleza y del número de interacciones o enlaces entre el recubrimiento y el soporte. Por lo tanto, el uso de sustancias tensoactivas tales como los emulsificantes, hacen posible la adherencia de una película hidrofóbica, sobre un producto alimenticio muy hidrofílico (Parzanese, 2014).

2.9 Evaluación Sensorial

La valoración sensorial es una función que la persona realiza desde la infancia y que le lleva, consciente o inconscientemente, a aceptar o rechazar los alimentos de acuerdo con las sensaciones experimentadas al observarlos o ingerirlos (Ramírez, 2011).

Actualmente, esta valoración sensorial o análisis sensorial es de gran importancia en las empresas, más concretamente en las industrias alimentarias, donde se tiene la necesidad de trabajar o adaptarse a los gustos o preferencias del consumidor con el objetivo de obtener un producto lo más acorde posible a estas preferencias.

El hecho de tener que adaptarse a los gustos del consumidor obliga a que se intente conocer cuál será el juicio crítico que el consumidor realice sobre el producto alimentario. Por tanto, la importancia que, para el técnico y la industria alimentaria tiene el conocer y valorar las cualidades organolépticas del producto que elabora es muy elevada. Una vez conocidos estos parámetros es igualmente importante conocer la repercusión que los posibles cambios en su elaboración o en los ingredientes puedan tener en las cualidades finales del producto (Ramírez, 2011).

Por esta razón, es necesaria la descripción o definición objetiva de las características que el consumidor experimentará subjetivamente en el producto final y que resultarán en su rechazo aceptación del producto.

2.9.1 Definición

La definición general del análisis sensorial de los alimentos sería un conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos, a través de uno o más de los sentidos humanos (Aguirre, 2011).

Desde el punto de vista de la normatividad española (UNE) vigente también se podría definir como: el examen de propiedades organolépticas de un producto realizable con los sentidos.

A partir de ambas definiciones se puede considerar el Análisis Sensorial como las técnicas o métodos de evaluación de las propiedades a través de los sentidos. Estas propiedades organolépticas son definidas en la misma norma, como los atributos de un producto perceptibles por los órganos de los sentidos (Aguirre, 2011).

En los últimos años, se han realizado numeroso estudios sobre atributos sensoriales, su medición instrumental y percepción a través de los órganos de los sentidos, se ha estudiado el concepto de calidad sensorial y de análisis. Y como consecuencia de estas estimaciones, se ha establecido que la calidad sensorial de un alimento no es una característica propia, sino el resultado de la interacción entre el alimento y el hombre. Así, se puede definir como la sensación humana provocada por determinados estímulos procedentes del alimento, influenciada por las condiciones fisiológicas, psicológicas y sociológicas de la personas grupo de personas que evalúa (Aguirre, 2011).

2.9.2 Atributos sensoriales

2.9.2.1 Color

El color es la percepción visual que se genera en el cerebro y que resulta de la interacción de la luz en la retina. El color viene determinado por unas características determinadas (Aguirre, 2011).

Estas características son:

- Tono o matiz, es la característica que permite clasificar un color como rojo, verde o azul, y depende sobre todo de la onda dominante de la luz.
- La saturación, pureza o intensidad, describe el grado de intensidad con la que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro.
- La luminosidad o brillo se define como la sensación producida por la luz reflejada, equivalente a la escala de grises que van desde el blanco (máxima luminosidad) hasta el negro (mínima luminosidad) (Aguirre, 2011).

Pese a que el color es la única propiedad sensorial cuya medida instrumental es más efectiva que su interpretación visual, es de gran importancia en el análisis sensorial, pues la apariencia es apreciada en primer lugar a través del color. El consumidor puede rechazar un producto debido a que el color de este es indeseable, independientemente del resto de sus cualidades (Ramírez, 2011).

2.9.2.2 Textura en boca

La textura en boca de un alimento permite describir las propiedades de dicho alimento tal y como son percibidas en el interior de la cavidad bucal tanto tras su entrada en boca como una vez que el producto ha sido masticado.

- **Adhesividad (pegajosidad):** en el aspecto sensorial es la fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente al paladar) durante el consumo (Aguirre, 2011).

2.9.2.3 Sabor

El sabor de un alimento es percibido en la lengua y la cavidad bucal a través de las papilas gustativas, que detectan los sabores dentro de la dilución que estos forman una tras la masticación y mezcla en la saliva.

Existen cuatro sabores fundamentales: ácido, amargo, dulce y salado. Se conoce a su vez las zonas de la lengua se perciben cada uno de estos sabores. También nos podemos encontrar con el denominado sabor, el umami, cuya sustancia de referencia es el glutamato sódico, en este caso no se conoce exactamente la zona de la lengua donde es percibido. Al igual que en el caso del umami, el sabor metálico, que está considerando un sabor, es muy empleado en el entrenamiento de paneles de catadores (Ramírez, 2011).

2.9.2.4 Aceptación global

La aceptación global de un alimento o producto no se encuentra regida solo por sus características sensoriales. Existen aspectos extrínsecos del producto que también influyen en su aceptabilidad o intención de compra. En el contexto real el consumidor no evalúa cada característica de manera individual, sino en su conjunto, donde algunos atributos ejercen marcada influencia sobre otros (Ramírez, 2011).

2.9.3 Tipos de pruebas

Existen diferentes tipos de pruebas sensoriales, la gran variedad de estas pruebas disponible permite escoger las más adecuadas o apropiadas para lograr los objetivos fijados durante el planteamiento del análisis sensorial.

La primera gran clasificación entre las pruebas sensoriales se diferencian las pruebas objetivas de las subjetivas o hedónicas. Dentro de estos dos grupos nos encontramos con los tres principales tipos de pruebas; afectivas o hedónicas, las pruebas de discriminación y las pruebas descriptivas (Aguirre, 2011).

2.9.3.1 Pruebas discriminatorias

Las pruebas discriminatorias representan una de las dos herramientas analíticas más útiles para el análisis sensorial. Son las que permiten encontrar diferencias significativas entre las muestras o entre ellas y un patrón (Aguirre, 2011).

Todos los métodos o pruebas descriptivas pretenden responder a la misma pregunta ¿Son estos productos diferentes? Y pueden ser empleadas para diferentes y prácticos objetivos. En algunos casos, los investigadores están interesados en demostrar que dos muestras son perceptiblemente diferentes. En otros casos, quieren determinar si dos muestras son lo suficientemente iguales como para ser usadas indistintamente. En algunos casos, este tipo de pruebas se utiliza para análisis paralelos, en los que algunos investigadores quieren demostrar una diferencia mientras otros involucrados en el mismo caso quieren demostrar una semejanza.

2.9.3.2 Pruebas descriptivas

Todos los análisis descriptivos incluyen la detección (discriminación) y la descripción tanto de los aspectos sensoriales cuantitativos como cualitativos del producto por parte del panel de jueces (Aguirre, 2011).

En las pruebas de carácter descriptivo los paneles de jueces deben ser capaces de detectar y describir los atributos sensoriales percibidos de una muestra (Aguirre, 2011). Además, los jueces deben aprender a diferenciar y clasificar cuantitativamente aspectos de una muestra y definir qué grado o magnitud de cada atributo tiene la misma. Dos productos pueden presentar las mismas características descriptivas, pero pueden diferir en gran medida en la intensidad de cada una y, por lo tanto, resulta en que los perfiles de cada producto fácilmente distinguibles (Aguirre, 2011).

2.9.3.3 Pruebas hedónicas

En las pruebas hedónicas el objetivo es conocer la opinión del consumidor sobre el producto que se está evaluando. Estos análisis, pueden ser, de aceptación o de preferencia, ambos proporcionan información acerca de los gustos o preferencias de un producto.

La preferencia no es sino un favoritismo de uno frente a otro y puede ser medido mediante la comparación de dos o más productos entre sí. Existen por tanto una relación entre la medida de la aceptación de un producto y su preferencia frente a otros. Mediante las escalas, se puede medir el grado de aceptación o desagrado de un producto, y a partir de estos datos, calcular las preferencias (Ramírez, 2011).

- ***Escalas Hedónicas***

Para la medida de la aceptación de un producto, la escala hedónica de nueve puntos es probablemente el método sensorial de mayor utilidad. Desde su desarrollo ha sido utilizado con una gran variedad de producto y con un éxito considerable (Ramírez, 2011).

La escala es fácilmente entendible por los consumidores tras una simple explicación, los resultados son probablemente estables y por ello este tipo de pruebas son llevadas a cabo por una gran cantidad de compañías y con un éxito considerable de validez en sus resultados.

2.9.4 Panel de jueces

El panel o jurado para análisis sensorial es realmente un “instrumento de medida” y, por lo tanto, el resultado de los análisis realizados dependerá de sus miembros. El reclutamiento de las personas que aceptan participar en un panel se debe realizar con cuidado y debe considerarse por parte de las empresas como una inversión real, tanto en tiempo como en dinero (Aguirre, 2011).

Los paneles para análisis sensorial pueden comprender uno de los tres tipos siguientes de jueces: Jueces; catadores; y expertos.

2.9.4.1 Juez experto

Es una persona con gran experiencia en probar un determinado tipo de alimento y que posee una gran sensibilidad para percibir las diferencias entre muestras y para evaluar las características del alimento. Debido a su habilidad y experiencia, en las pruebas que efectúa solo es necesario contar con su criterio. Estos jueces están revisando constantemente sus habilidades y existen muy pocos en todo el mundo (Aguirre, 2011).

2.9.4.2 Juez entrenado o panelista

Es una persona con bastante habilidad para la detección de alguna propiedad sensorial, que ha recibido enseñanza teórica y práctica sobre la evaluación sensorial, sabe lo que debe medir exactamente y realiza pruebas sensoriales con cierta periodicidad. El número requerido es de al menos siete y como máximo quince. Se emplean para pruebas descriptivas y discriminativas complejas. Como los jueces expertos, deben abstenerse de hábitos que alteren su capacidad de percepción (Aguirre, 2011).

2.9.4.3 Juez semientrenado o “de laboratorio”

Son personas con un entrenamiento teórico similar al de los jueces entrenados, que realizan pruebas sensoriales con frecuencia y poseen suficiente habilidad, pero que generalmente solo intervienen en pruebas discriminativas sencillas que no requieren una definición muy precisa de términos o escalas. Las pruebas con este tipo de jueces requieren un mínimo de 10 y un máximo de 20 o 25 jueces (Aguirre, 2011).

2.9.4.4 Juez consumidor

Son personas que no tienen nada que ver con las pruebas, ni han realizado evaluaciones sensoriales periódicas. Son elegidos al azar y solo se emplean en pruebas afectivas. Es importante que sean consumidores habituales del producto a valorar o, en el caso de un producto nuevo, que sean los consumidores potenciales de dicho producto. El número de jueces necesario oscila entre 30 y 40 (Aguirre, 2011).

Para todos los Análisis sensoriales es necesario que se elabore una estrategia que permita emprender las cuestiones clave. En primer lugar se deben fijar los parámetros o características del producto que se desea valorar, es decir, los objetivos que se pretenden obtener con dicho análisis.

Ya que se han establecido los objetivos, se debe plantear la forma en que se pretenden lograrlos, se definen las pruebas sensoriales más adecuadas a los objetivos fijados, el número de jueces necesario para llevarlos a cabo, el diseño experimental, método de análisis y la forma de preparación de las muestras.

Una vez dado por terminada la planificación, se procede a la realización de las pruebas sensoriales programadas. Los datos obtenidos se analizan estadísticamente, se obtienen los resultados finales y se presentan las conclusiones pertinentes (Aguirre, 2011).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

Para la elaboración de las películas se utilizó alginato de sodio adquirido en Sigma-Aldrich (St. Louis Missouri, USA), Pectina de manzana comprado en Sigma-Aldrich (St. Louis Missouri, USA), el glicerol adquirido en Jalmek Co. (Monterrey, Nuevo León, México). El cloruro de sodio, cloruro de calcio y el cloruro de potación se adquirieron en Jalmek Co. (Monterrey, Nuevo León, México).

3.2 Métodos

3.2.1 Elaboración y caracterización de películas

3.2.1.1 Elaboración de películas a base de alginato- pectina y glicerol

Se prepararon soluciones acuosas a partir de alginato, pectina y glicerol siguiendo la siguiente formulación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Condiciones de elaboración de las películas

Muestra	Alginato (%)	Pectina (%)	Glicerol (%)
A	90	10	10
B	90	10	20
C	90	10	30
D	80	20	20
E	80	20	25
F	80	20	30
G	70	30	10
H	70	30	20
I	70	30	30
J	60	40	10
K	60	40	20
L	60	40	30
M	50	50	10
N	50	50	20
O	50	50	30

Se mezclaron los tres componentes y se disolvieron por separado a una temperatura de 65°C con agitación constante (600 rpm).

Posteriormente se vaciaron las diferentes formulaciones en la caja Petri correspondiente. Para su secado las cajas fueron introducidas a una estufa ventilada a 60°C durante 7 horas. Las películas secas se despegaron de las cajas para poder medir los demás parámetros (Figura 4).



Figura 4. Secado de las películas

3.2.2 Propiedades físicas de las formulaciones

3.2.2.1 Medición de color

Esta prueba se evaluó con un colorímetro (Minolta CR-400, Tokyo, Japan). Se calibro con una base blanca ($L=97.75$, $a=0.49$, $b=1.96$, supplied by Minolta Co.) Para poder medir el color en las demás muestras. Este sistema nos proporciona los valores de L^* que es el de luminosidad va de 0 (negro) a 100 (blanco) los otros valores a^* y b^* representan variación entre el rojizo- verdoso y amarillento-azulado. De cada muestra se tomaron cinco puntos tomados al azar (Figura 5).



Figura 5. Medición de color

3.2.2.2 Medición de grosor

El espesor de la película se midió con un micrómetro digital (Mitutoyo Manufacturing Co. Ltd., Tokyo, Japan), las lecturas fueron en milímetros, de igual manera tomada desde cinco puntos distintos en la película. Calculando posteriormente el promedio para cada muestra (Figura 6).

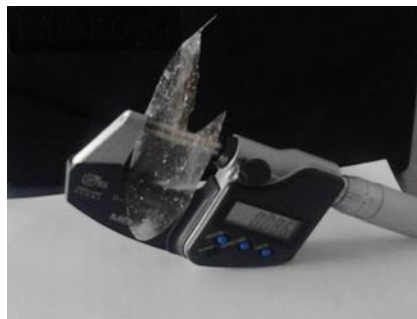


Figura 6. Medición de grosor

3.2.2.3 Medición de Propiedades ópticas (Absorbancia)

Se realizaron dos cortes rectangulares (1 cm X 3 cm) de cada película para poder introducirlos en celdas diferentes en un espectrofotómetro, y las mediciones se realizaron utilizando aire como referencia. La absorbancia fue escaneada con una longitud de onda de 400 a 800 nm, utilizando un espectrofotómetro Génesis 10 UV (Thermo Electron Corporation, Madison, Wisconsin, USA) (Figura 7).



Figura 7. Medición de propiedades ópticas (Absorbancia)

3.2.2.4 Medición de humedad

El contenido de humedad (CH) de cada muestra se determinó de acuerdo al método reportado por Mei & Zhao (2003). Las películas fueron cortadas en cuadros de 2 cm X 2 cm, posteriormente estas piezas fueron colocadas en recipientes de aluminio que anteriormente estaban a peso constante. Los recipientes de aluminio junto con los cortes se pesaron y se metieron en un horno de laboratorio (Qunicy Lab Inc., Chicago, Illinois, U.S.A.) a 100°C durante 24 h. Pasando el tiempo requerido las muestras se pusieron en un desecador que consecutivamente se pesaron en una balanza analítica (Adventurer Ohaus Corp., Pine Brook, New Jersey, U.S.A.) con una exactitud de 0.0001 g. El 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, con la siguiente ecuación (Ec. 1) (Figura 8).

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{(\text{Peso seco inicial} - \text{Peso seco final}) * 100}{(\text{Peso seco inicial})} \quad (\text{Ec. 1})$$



Figura 8. Charolas de aluminio con películas

3.2.2.5 Medición de solubilidad

Siguiendo la metodología propuesta por Romero-Bastida *et al.*, (2005) y utilizando las muestras de determinación de humedad. En esta medición se tomaron los pequeños cortes de cada muestra, tomando dos repeticiones para cada una. Se colocaron en un vaso de precipitado de 250 mL con 60 mL de agua destilada con unan agitación constante a 25°C y 400 nm por 10 minutos. Utilizando papel filtro se vaciaron por medio de un embudo y después de filtraron. Posteriormente las muestras se secaron con una temperatura de 50°C durante 24 horas hasta peso constante utilizando una balanza digital (Adventurer Ohaus Corp., Pine Brook, New Jersey, U.S.A.) con una exactitud de 0.0001 g. Para calcular los porcentajes de solubilidad se utilizó la siguiente ecuación (Ec. 2).

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{(\text{Peso seco inicial} - \text{Peso seco final}) * 100}{(\text{Peso seco inicial})} \quad (\text{Ec. 2})$$

3.2.2.6 Medición de permeabilidad al vapor de agua

Se utilizó cloruro de sodio (NaCl, aproximadamente 3.0 g) como desecante dentro de las celdas (recipientes de acrílico) de permeabilidad donde se colocaron las películas. La distancia entre la superficie del desecante y la película tal y como la sugiere la ASTM E 96 (ASTM, 2001). Posteriormente las celdas se colocaban en recipientes de plástico que servían como desecadores con una humedad relativa de 75%, 85% y 100% a temperatura ambiente (25°C). En esta prueba con ayuda de una balanza analítica, se realizaba un monitoreo de la ganancia o pérdida de peso de cada película, con respecto al tiempo, durante 5 horas. Cuando la relación entre el peso ganado (Δw) y el tiempo (Δt) es lineal, la pendiente se utiliza para calcular la velocidad de transmisión de vapor de agua (TVA) y la permeabilidad al vapor de agua (PVA) (Arévalo *et al.*, 2010). La

pendiente se obtiene de una regresión lineal de los pesos de las celdas con las películas. La velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA) se calculó de la pendiente ($\Delta w/\Delta t$) dividido por el área de prueba (A) ($\text{g (m}^2\text{)}^{-1} \text{d}^{-1}$), con la siguiente ecuación:

$$VTVA=(\Delta w/\Delta t)/A$$

Donde $\Delta w/\Delta t$ = velocidad de transferencia, cantidad de pérdida de humedad por unidad de tiempo (g d^{-1}); A = área expuesto a la transferencia de humedad (m^2).

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) se calcula con la siguiente ecuación:

$$PVA=[WVTR*L/ \Delta p]$$

Donde PVA es la permeabilidad al vapor de agua ($\text{g mm m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{kPa}^{-1}$), VTVA es la velocidad de transmisión al vapor de agua ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$), L es el grosor de la película (mm) y Δp es la diferencia entre las presiones de vapor de agua en ambos lados de la película (kPa) (Arévalo *et al.*, 2010) (Figura 9).



Figura 9. Celdas de acrílico con películas para la PVA

3.3.3 Análisis sensorial

3.3.3.1 Procedimiento del análisis sensorial

Se llevó a cabo por un panel formado de 13 jueces semientrenados, estudiantes de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a los cuales se les proporcionó los materiales necesarios para evaluar las películas formuladas. Los jueces evaluaron los siguientes atributos: color, sabor, pegajosidad y aceptación global.

Como se muestra en la figura 10, a cada uno de los jueces se le proporcionaron las muestras de películas y se les pidió que evaluaran los atributos de color, sabor, pegajosidad y aceptación global de acuerdo a la escala de nueve puntos, donde 1= muy poco agradable y 9= muy agradable.



Figura 10. Análisis sensorial

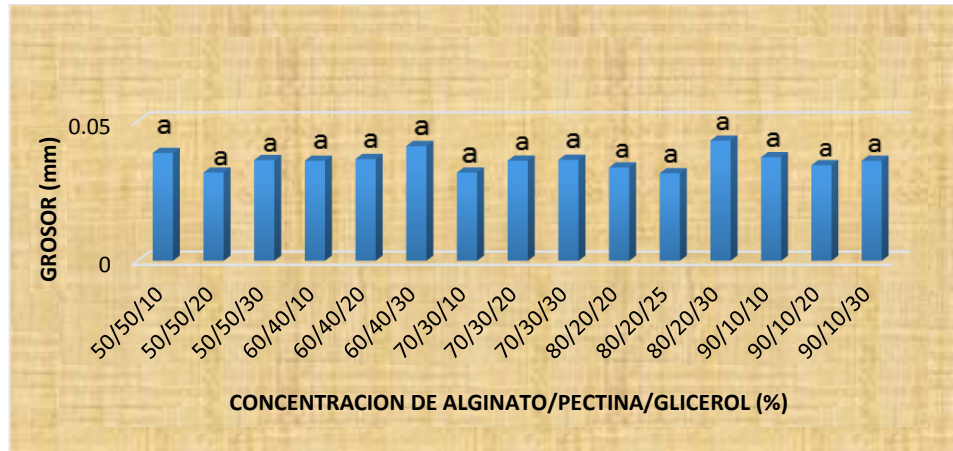
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis físicos de películas a base de alginato, pectina y glicerol

Las películas obtenidas en esta investigación presentaron diferentes propiedades de cada variable, dependiendo de su composición y de las condiciones de elaboración.

4.1.1 Grosor de las películas

En la figura 11 se muestran las diferentes concentraciones de alginato, pectina y glicerol. En el grosor de las películas se observó que no hay diferencia significativa ($P > 0.05$) ya que la variación del espesor es muy similar en la mayoría de las películas. Se puede ver que la muestra 12 con 80% de alginato, 20% de pectina y 30% de glicerol y la muestra 6 que contienen 60% de alginato, 40% de pectina y 30% de glicerol, tienen un valor de 0.043 mm y 0.041 mm siendo los más altos, esto se debe a que este plastificante ayuda al incremento de espesor. Por otro lado los resultados también muestran que cuando el alginato está presente en la formulación con un porcentaje alto (60-80%) el grosor aumenta, este comportamiento puede estar asociado a las diferentes masas moleculares de los polímeros.



Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Figura 11. Comportamiento de grosor en las películas

Resultados similares reporta Altenhofen da Silva *et al* (2009) al analizar el efecto de glicerol contenido en películas de alginato y pectina con un espesor de aproximadamente 45 - 70 μm . En cuanto al porcentaje utilizado en pectina y alginato los autores Sriamomsak y Kennedy (2008), mencionan que las películas de pectina tienden a ser más delgadas que las de alginato porque logran un alto compacto molecular, hecho atribuido a la menor masa molecular de la pectina en relación con el alginato. Estos autores obtuvieron películas de pectina que eran la mitad del grosor de sus películas de alginato puro.

4.1.2 Color de las películas

En el cuadro 2 se muestran todos los valores de color para las películas compuestas de alginato, pectina y glicerol. En este parámetro de color existe una diferencia altamente significativa ($P < 0.01$) para todos los valores tanto como de luminosidad (L^*) como para factor a^* y b^* . Los valores de luminosidad (L^*) van disminuyendo de un 94.67 en la muestra 14 (90/10/20) que tiene un alto contenido de alginato, bajando a 93.62 de la muestra 4 (60/40/10) con mayor contenido de pectina, no obstante todos los valores son similares ya que se acercan al 100 (máxima luminosidad) lo cual es deseable debido a que permitieron visualizarse en el fondo blanco contra el cual fueron apoyadas durante su medición, esto infiere en que no habrá problemas al momento de usarse como cubierta en un alimento por que no sufrirá modificaciones en las características visuales. En el factor a^* aumento significativamente desde -1.09 hasta -0.09 teniendo una concentración media de alginato y alta en pectina, en el estudio de este parámetro encontramos que todas las muestras presentan magnitudes negativas, esto representa colores ligeramente verdoso no apreciables visualmente. El color de las películas tienden a cambiar el color transparente según lo indicado en el aumento del factor b^* de 5.23 que tienen menos alginato a 6.9 donde existe concentración alta en pectina, por lo que se puede decir que esta afecta de manera elocuente a las películas dando un color amarillento.

Cuadro 2. Parámetros de color en las películas de alginato/pectina/glicerol (%)

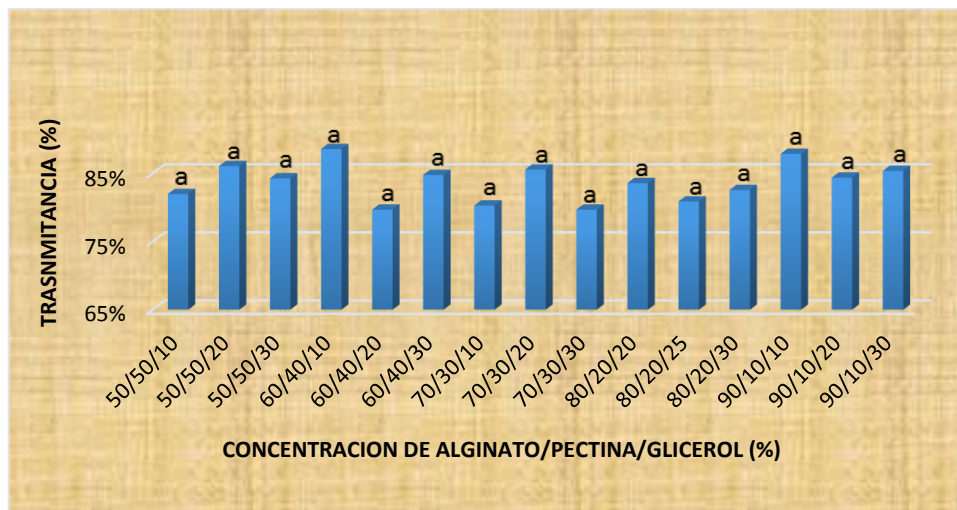
Formulación	Color			
	Alg/Pect/Gly (%)	L*	a*	b*
50/50/10		93.76 ^{cde}	-1.02 ^d	6.70 ^a
50/50/20		94.37 ^{cadb}	-1.09 ^d	6.90 ^a
50/50/30		93.98 ^{cadbe}	-1.03 ^d	6.69 ^a
60/40/10		93.62 ^e	-0.09 ^a	6.49 ^{ab}
60/40/20		93.74 ^{de}	-0.44 ^b	6.59 ^{ab}
60/40/30		94.45 ^{cab}	-0.89 ^{dc}	6.08 ^{bc}
70/30/10		94.49 ^{ab}	-0.66 ^{bc}	5.73 ^{dc}
70/30/20		94.60 ^a	-0.63 ^b	5.41 ^d
70/30/30		94.06 ^{cadbe}	-0.47 ^b	6.10 ^{cb}
80/20/20		93.78 ^{cde}	-0.44 ^b	5.40 ^d
80/20/25		94.23 ^{cadbe}	-0.55 ^b	5.46 ^d
80/20/30		94.20 ^{cadbe}	-0.62 ^b	5.50 ^d
90/10/10		93.84 ^{cdbe}	-0.56 ^b	5.31 ^d
90/10/20		94.67 ^a	-0.67 ^{bc}	5.23 ^d
90/10/30		93.98 ^{cadbe}	-0.62 ^b	5.52 ^d

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (P<0.05)

Estos valores son muy similares a los que reporta Galus y Lenart (2012), en un estudio realizado en películas comestibles de estos mismos compuestos a diferentes concentraciones. Por lo que se puede decir que las películas se encuentran en un alto nivel de luminosidad y un color amarillo verdoso, pero que al momento de usarse, no afectara la apariencia del alimento. Lo cual concuerda con los experimentos realizados en esta investigación.

4.1.3 Transmitancia

Los valores obtenidos se muestran en la figura 12. En esta variable de transmitancia no existe una diferencia significativa ($P > 0.05$) ya que todas las muestras son similares, a pesar de este análisis se puede observar que la muestra 4 que contiene 60% de alginato, 40% de pectina y 10% de glicerol, presentan el valor más alto en transmitancia con un 89% , y la misma fórmula pero con 20% de glicerol presenta el valor más bajo de 80%, por lo que se puede decir que la formulación 60/40/10 que tiene menos glicerol presenta una mayor transmisión a 600 nm, es decir que son más transparentes por que dejan pasar fácilmente la luz. En general se observó una transparencia aceptable visualmente en las PC, con un promedio de 84%.



Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Figura 12. Comportamiento de transmitancia en las películas

4.1.4 Opacidad

En el cuadro 3 se pueden ver los datos que arrojo el estadístico en cuanto a opacidad. Los resultados obtenidos oscilan entre 0.00208 y 0.00417, todos los valores son similares por lo que no existe diferencia significativa ($P>0.05$) en las concentraciones. Sin embargo quien presenta mayor opacidad es la muestra 12 que contiene 80% de alginato 20% de pectina y 30% de glicerol, lo cual coincide con la formulación de PC que tiene el mayor grosor.

Cuadro 3. Valores de opacidad en las películas de alginato/pectina y glicerol

Formulación	
Alg/Pect/Gly (%)	Opacidad
50/50/10	0.00363 ^a
50/50/20	0.00215 ^a
50/50/30	0.00379 ^a
60/40/10	0.00313 ^a
60/40/20	0.00345 ^a
60/40/30	0.00353 ^a
70/30/10	0.00208 ^a
70/30/20	0.00409 ^a
70/30/30	0.00367 ^a
80/20/20	0.00336 ^a
80/20/25	0.00321 ^a
80/20/30	0.00417 ^a
90/10/10	0.00367 ^a
90/10/20	0.00275 ^a
90/10/30	0.00274 ^a

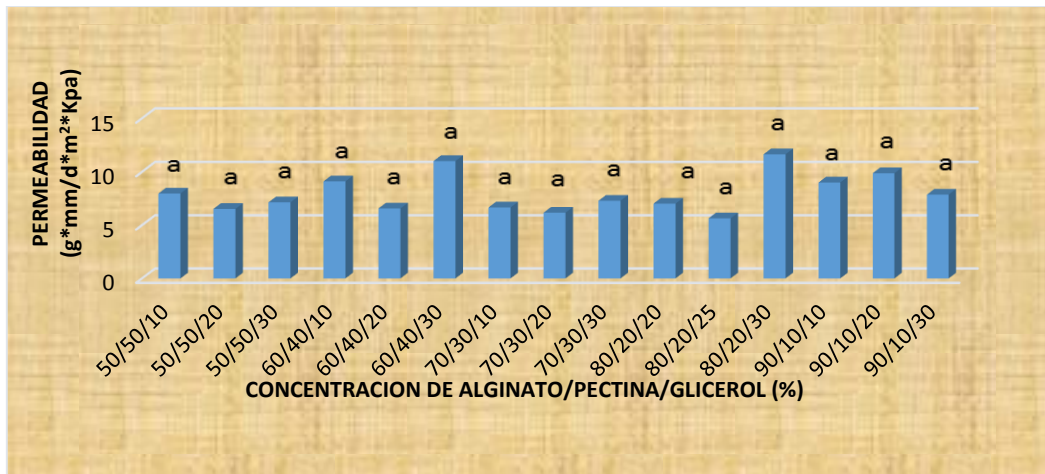
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$)

López *et al.*, 2008 aluden que la apariencia es el parámetro de aceptación más importante durante la selección de un producto por parte del consumidor, por lo cual es importante estipularla. Estudios realizados por Buitrago *et al.*, 2012, indican que películas elaboradas a base de estos dos compuestos a diferentes concentraciones, presentan muy poca opacidad, ya que las estas resultan muy homogéneas y con un alto grado de transparencia. Aunque son muy pocos los datos reportados de opacidad en películas comestibles a formuladas con alginato y pectina, es importante tomar en cuenta este parámetro en la caracterización de películas comestibles ya que dependerá en muchas ocasiones de la conservación de sus características organolépticas visuales y de la aceptación del consumidor.

4.1.5 Permeabilidad al vapor de agua

En la figura 13 muestra los resultados obtenidos para la permeabilidad al vapor de agua de las películas de alginato, pectina y glicerol, para una gradiente de 75, 85 y 100% de humedad relativa y 25°C de temperatura. Para este parámetro se realizó un análisis estadístico de interacción o efecto conjunto, el cual alude a que no existe efecto conjunto ($P > 0.05$), por lo que el cambio en un nivel formula no afecta el cambio en un nivel PVA. Se observa que los valores obtenidos en las formulaciones son similares, aunque las muestras 12 (80/20/30) y 6 (60/40/30) ambas contienen 30% de glicerol presentando un alto valor, el cual indica un incremento en la permeabilidad al vapor de agua conforme aumenta el contenido de plastificante. Este hecho se debe a que el plastificante modifica la organización molecular haciendo la estructura menos densa y como consecuencia más permeable. Este valor también se atribuye a que la concentración de alginato es alta (60-80%) hecho atribuido a que este compuesto es hidrofílico y una mayor concentración de este sugiere un comportamiento más afín al agua. En cuanto al grosor con respecto al PVA no coinciden, dado que los valores más altos son las mismas muestras y se contradicen, porque entre más alto sea el valor del grosor tendrá mejor barrera a la permeabilidad. Lo cual indica

que el plastificante que usamos (glicerol) y el alginato de sodio, afecta de manera elocuente la interacción con el espesor y la PVA.



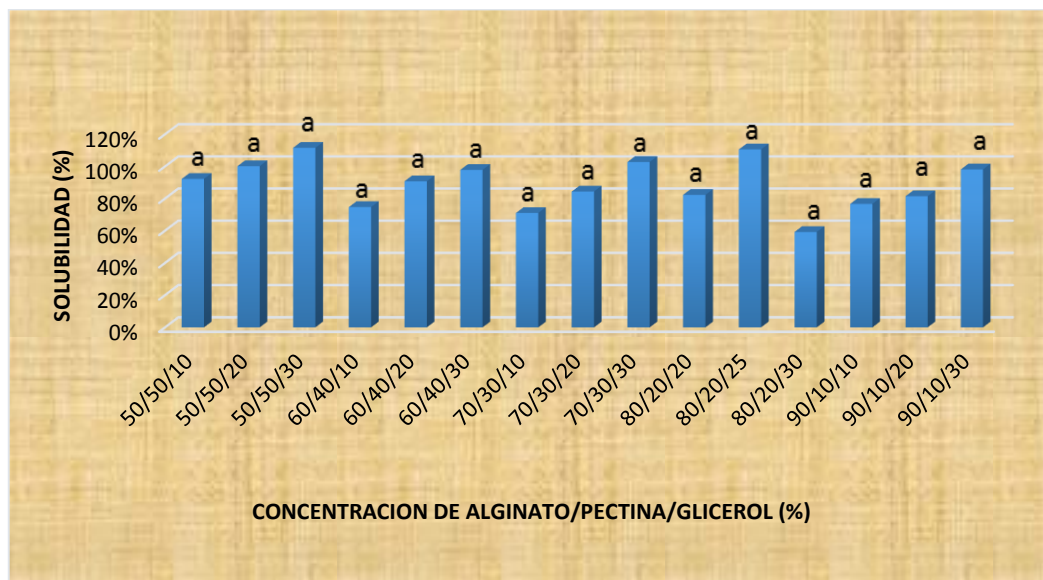
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Figura 13. Comportamiento de permeabilidad en las películas

Estudios realizados por Bertuzzi *et al.*, 2002 muestran resultados similares en películas elaboradas a base de almidón y glicerol. Donde exponen que el incremento de la PVA con el contenido del glicerol puede estar relacionado a la hidrofiliidad de la molécula de plastificante. También menciona que al introducir un plastificante hidrofílico provocan un aumento en la capacidad de absorción de moléculas polares, tales como el agua, al reducir las fuerzas intermoleculares entre las cadenas del polímero, hacen que exista un mayor espacio en su estructura para que las moléculas de agua migren a través de la película comestible, haciendo valores más altos para la permeabilidad al vapor de agua, lo mismo sucede con la interacción del alginato de sodio en las PC. Respecto al grosor con relación a la permeabilidad, este autor reporto datos semejantes a nuestra investigación, por lo que considera que no exhibe efecto el espesor sobre la permeabilidad al vapor de agua ya que su incremento indica que la película no estaría actuando como una barrera. Por lo que se puede decir que los resultados obtenidos para este parámetro no son los más efectivos dado que la permeabilidad al vapor de agua debe ser lo más baja posible.

4.1.6 Solubilidad

Se determinó el porcentaje de solubilidad de las diferentes formulaciones de las películas comestibles (figura 14), las cuales de acuerdo con el análisis estadístico hay diferencia significativa ($P < 0.05$). Se observa que las películas presentan valores que van desde un 59% hasta valores que rebasan el 100% como la formulación 3 que contiene 50% de alginato, 50% de pectina y 30% de glicerol obteniendo un porcentaje de 112. En general las películas mostraron un alto grado de solubilidad, ya que los componentes con los que se trabajaron tienden a ser higroscópicos, y por lo tanto, existe una mayor absorción de agua.



Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Figura 14. Comportamiento de solubilidad en las películas

Arredondo (2012) menciona que el comportamiento de las PC ante la presencia de agua, es un parámetro importante que determina en primera instancia su aplicación sobre algún producto en específico, por lo que la tolerancia o afinidad por el agua depende directamente de su composición química.

Miramont (2012) señala que una película con alto porcentaje de solubilidad vera comprometida su estabilidad si se quiere aplicar en alimentos más húmedos o si

el ambiente en donde se almacenara es de alta humedad relativa. Por lo cual, de acuerdo a los resultados obtenidos en nuestra investigación, es aplicable para algunas formulaciones donde la solubilidad es menor, mientras que las que tienen porcentajes altos de este parámetro, pueden ser utilizadas si la película es consumida junto con el alimento o bien que se solubilice durante su cocción.

Investigaciones realizadas por Altenhofen *et al.*, 2009 exponen resultados similares con los mismos compuestos, asumiendo que el glicerol desabrocha la estructura polimérica permitiendo que los sitios adquieran más cargas y por lo tanto tengan mayor acceso al agua.

4.1.7 Humedad

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis estadístico, las películas elaboradas con alginato, pectina y glicerol revelan que existe una diferencia altamente significativa ($P < 0.01$). Como se puede observar en el cuadro 4, el contenido de humedad de las películas depende mucho de la presencia del plastificante, glicerol. Las películas muestran valores que exceden el 100% de humedad, debido a que como ya se ha mencionado antes, los compuestos usados para su fabricación, son hidrofílicos, por lo cual retienen más agua. El cuadro 4 también muestra que los valores más altos son los que contienen un porcentaje medio de los tres compuestos sin embargo se ven afectados por el contenido de alginato y glicerol, generando un aumento en la cantidad de agua retenida por las películas.

Cuadro 4. Contenido de humedad de las películas elaboradas con alginato/pectina/glicerol (%)

Formulación

Alg/Pect/Gly (%)	Humedad (%)
50/50/10	124 ^{ab}
50/50/20	106 ^{cdbe}
50/50/30	100 ^e
60/40/10	132 ^a
60/40/20	124 ^{ab}
60/40/30	109 ^{cdb}
70/30/10	114 ^{cdbe}
70/30/20	121 ^{cab}
70/30/30	132 ^a
80/20/20	116 ^{cadbe}
80/20/25	122 ^{cab}
80/20/30	105 ^{cde}
90/10/10	119 ^{cadb}
90/10/20	113 ^{cdbe}
90/10/30	103 ^e

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (P<0.05)

En estudios realizados por Altenhofen da Silva *et al.*, 2009 trabajando con estos compuestos. Mencionan que la humedad se ve afectada significativamente al aumentar el contenido de glicerol, ya que este tiene una alta acción hidrofílica. Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con estos autores ya que las películas presentan un contenido de humedad muy alto.

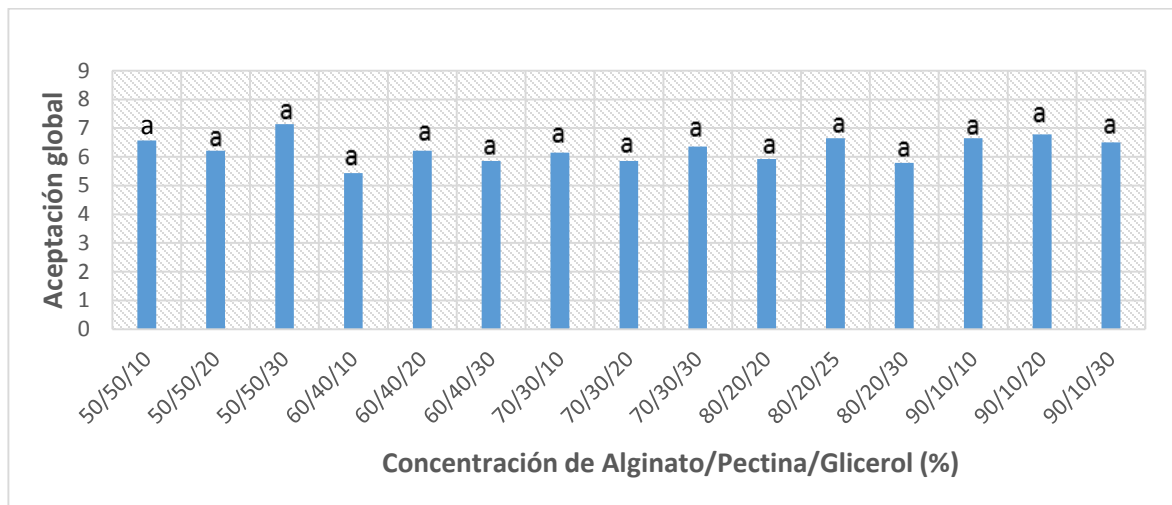
4.2 Evaluación sensorial

Los datos se sometieron a un análisis de varianza. Se empleó la prueba de comparación de medias de Tukey para poder identificar las diferencias significativas entre las medias individuales de los parámetros en las películas a base de alginato-pectina y glicerol.

Se presenta la evaluación sensorial de aceptación global, color, sabor y pegajosidad de todas las concentraciones.

4.2.1 Aceptación global

El análisis de los datos en cuanto a la aceptación global indicó que no existe una diferencia significativa ($P > 0.05$) entre la muestra 3 que contiene 50% de alginato, 50% de pectina y 30% de glicerol y la muestra 4 que contiene 60% de alginato 40% de pectina y 10% de glicerol, dado que en las demás muestras las medias son similares por lo tanto no hay diferencia significativa. En cuanto a la muestra 4 (60/40/10) tuvo el valor más bajo debido a que el color de la película era un poco amarilla por lo tanto para los jueces no era agradable consumirlas (Figura 15).

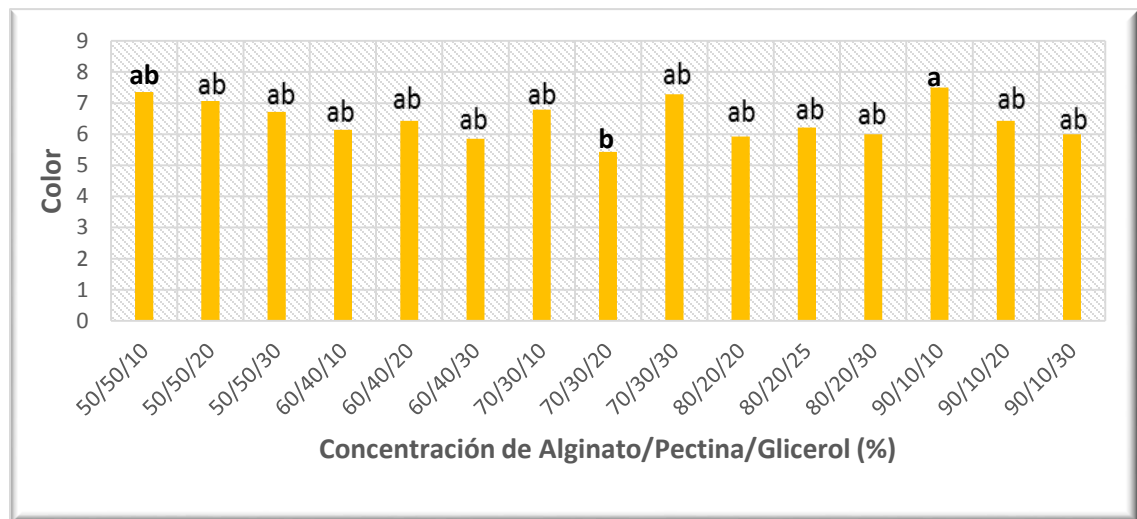


Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Figura 15. Comportamiento de la apariencia global respecto a la concentración de Alginato/Pectina/Glicerol (%)

4.2.2 Color

En el atributo de color existe una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre la muestra 13 (90/10/10) con un valor de 7.5 y la muestra 8 (70/30/20) con un puntaje de 5.43, las demás muestras obtienen medias similares por lo que no son significativamente diferentes. El valor más alto fue atribuido por los jueces como agradable, ya que las películas tenían un aspecto transparente y en el valor bajo se debió a el color amarillo en las películas por lo tanto no fue satisfactorio (Figura 16).

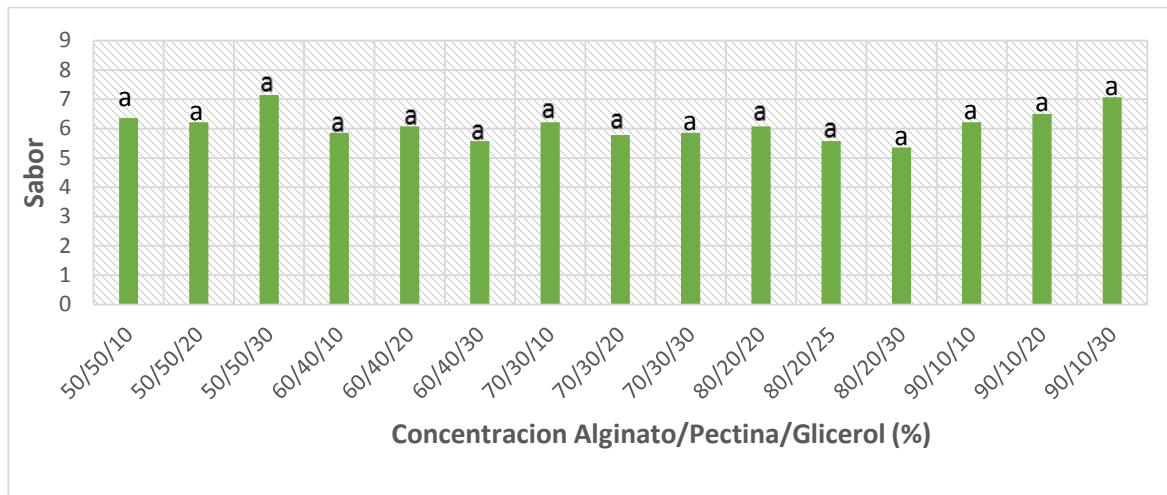


Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Figura 16. Comportamiento de color respecto a la concentración de Alginato/Pectina/Glicerol (%)

4.2.3 Sabor

Para la variable de sabor, no hay diferencia significativa ($P>0.05$) los valores van desde 5.36 en la muestra 12 (80/20/30) y 7.14 para la muestra 3 (50/50/30). Las demás formulaciones obtienen medias similares por lo que no son significativamente diferentes. En el valor más alto las concentraciones de los compuestos fueron equitativas y el porcentaje del glicerol fue de un 30% por lo que los jueces detectaron un sabor dulce y agradable. En el valor más bajo los jueces determinaron un sabor amargo dejando resabio en la boca, lo cual resultaba desagradable para los jueces (Figura 17).

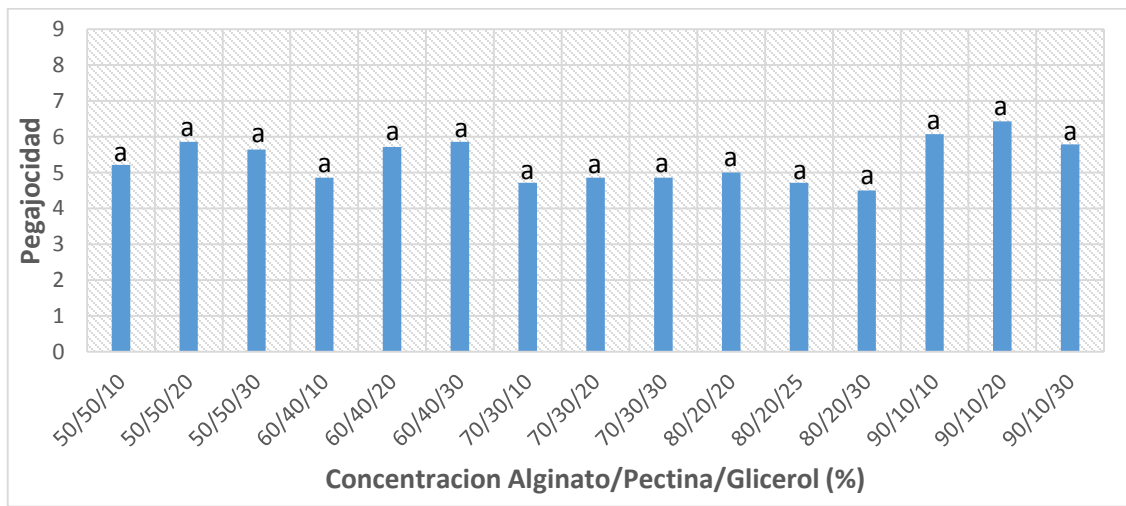


Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$)

Figura 17. Comportamiento de sabor respecto a la concentración de Alginato/Pectina/Glicerol (%)

4.2.4 Pegajosidad

En la figura 18, se puede observar los resultados adquiridos respecto al atributo de pegajosidad donde no existe diferencia significativa ($P>0.05$) entre las formulaciones, aun así se muestran los resultados de la muestra 14 (90/10/20) con un puntaje de 6.43 y la muestra 12 (80/20/30) con un valor de 4.5. De acuerdo a la evaluación sensorial este comportamiento se debe a que la muestra 12 (80/20/30) se adhería más fácil a la boca. La muestra 14 (90/10/20) fue lo contrario ya que esta podía evaluarse sin problema a que se quedara pegada en el paladar. Las demás formulaciones no presentan diferencia significativa ya que las medias son similares.



Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$)

Figura 18. Comportamiento de pegajosidad respecto a la concentración de Alginato/Pectina/Glicerol (%)

Se ha determinado que las personas no poseen conocimientos acerca de los empaques o recubrimientos comestibles por lo tanto tienden a rechazar los alimentos cuando creen que estos recubrimientos o películas no son parte integral de los mismos (Albizú *et al.*, 2011). Sin embargo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos, en general las películas tuvieron gran aceptación por parte de los panelistas ya que estuvieron en un rango de 4.5 a 7.35, siendo el valor más bajo el atributo de pegajosidad, y el valor más alto para el sabor.

La razón por la que los valores no superan la calificación de 8 fue debido a que no se realizaron cambios significativos que afectaran las características sensoriales de las películas, lo cual refleja una aceptación similar para cada uno de los parámetros. Debido a que la evaluación sensorial de películas comestibles era novedoso para los jueces, en los comentarios exponían que era difícil hacer una estimación por la alta pegajosidad que estas tenían, aun así los demás parámetros fueron bien aceptados por los jueces.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, cuyo objetivo principal fue la caracterización de películas elaboradas con alginato, pectina y glicerol a diferentes concentraciones, y en función a los resultados obtenidos, se dan las siguientes conclusiones:

- Se investigó el efecto de la concentración de glicerol sobre las características ópticas y la permeabilidad al vapor de agua sobre las películas elaboradas con una mezcla de alginato, pectina y glicerol concluyendo que las concentraciones de estos compuestos tuvieron una influencia significativa en las propiedades físicas de las películas.
- Se analizaron varios parámetros físicos concluyendo que para grosor los mayores valores se ubicaron en un rango de 0.043 y 0.041 mm, siendo el glicerol quien influye en el aumento de este parámetro. Por su parte, en color existe una diferencia altamente significativa, donde la luminosidad (L^*) fue alta, denotándose valores cercanos al 100, mientras que en el factor b^* los valores oscilaron entre 5.23- 6.9 proporcionando una tonalidad amarillenta y por ultimo para el factor a^* , dado que se obtuvieron valores negativos de -0.09 a -1.09 se evidencio una tonalidad ligeramente verdosa no apreciable visualmente. Para la transmitancia observada en las películas, no hubo diferencia significativa, ya que los valores estuvieron entre un 80-89% siendo las de mayor transmitancia las que tienen menor glicerol, así mismo el promedio obtenido fue de 84% haciendo una transparencia aceptable. Las películas muestran poca opacidad por lo que en este parámetro no hubo diferencia significativa En cuanto a la permeabilidad al vapor de agua aumento en proporción a la concentración de glicerol, ya que este plastificante hace menos densas las películas

- haciéndolas más permeables. Por lo tanto las películas fueron pobres barreras al vapor de agua, confirmando lo que otros estudios de películas comestibles, han demostrado. Por ultimo para el análisis de solubilidad muestra una diferencia significativa dejando valores que van desde 59 a un 112%, dado que las películas presentaban un alto grado de solubilidad. En cuanto a la humedad se refiere, hubo una diferencia altamente significativa, donde los valores arrojados en los resultados rebasan el 100%, hecho dado por la incorporación de glicerol, ya que es un plastificante que retiene mucha agua, por su comportamiento hidrofílico.
- Se evaluaron sensorialmente las siguientes formulaciones concluyendo que las películas elaboradas en esta investigación, no tuvieron efecto significativo en las características sensoriales de aceptación global, sabor y pegajosidad, sin embargo en el atributo de color si existió diferencia significativa, esto debido al color sutilmente amarillento. La calificación sensorial fue en el rango de 4 a 8, teniendo en general una buena aprobación por parte de los panelistas.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFIA

Alfonso Arce, C.C., 2011. Caracterización de películas comestibles de quitosano y la afectación de las propiedades por aplicación de aceites esenciales. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Bogotá.

Aguirre Aramendia, M., 2011. Selección de un panel de cata para análisis discriminativos de productos cárnicos con recubrimientos antimicrobianos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Pública de Navarra.

Altenhofen da Silva, M., Krause Bierhalz, C.K., Guenter Kieckbusch, T. 2009. Alginate and pectin composite films Crosslinked with Ca²⁺ ions: Effect of the plasticizer concentration. *Journal Carbohydrates Polymers*, 77, 736-742.

Ayola C. Y., Hernández O. M. 2010. Used of an edible coating on alginate based and effect on the quality of strawberry (*Fragaria ananasa*) cv. Camarosa. *Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 9 (1): 22-30.

Aguilar Méndez, M.Á. 2005. Propiedades físicas y mecanismos de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.

Arias-Cruzado, E.Y., Torres-Bojórquez, A. E., y Pérez-Pérez, C. 2014. 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 de Celaya, Departamento de Ingeniería Bioquímica. Celaya, Guanajuato.

Arévalo Niño, K., Alemán Huerta, M. E., Rojas Verde, M. G., y Morales Rodríguez, L. A. 2010. Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: propuesta de empaques activos. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 1(2): 124-134. Instituto de Biotecnología. Facultad de Ciencias Biológicas, universidad Autónoma de Nuevo León.

Albisu Aguado, M., Arnau Arboix, J. 2014. *Los retos actuales de la industria alimentaria*. IMC, Madrid.

Aldana-Villarruel, D.S., Aguilar-González, C. N., Contreras-Esquivel, J. C., y Nevarez-Moorillon, G. V. 2011. Moléculas pécticas: extracción y su potencial aplicación como empaque. *Tecnociencia*, 5(2): 76-82. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila.

Arredondo Ochoa, T. 2012. Diseño de empaques comestibles activos a base de almidón modificado para su posible aplicación en alimentos en fresco. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro. México.

Albizú Portillo, H.C., Ac Pangan., M.F. 2011. Desarrollo de un recubrimiento comestible a base de proteína de suero de leche para queso Cheddar. Tesis Licenciatura. Zamorano, Honduras.

Álvarez Quintero, R.M. 2012. Formulación de un recubrimiento comestible para frutas cítricas, estudio de su impacto mediante aproximación metabólica y evaluación de la calidad poscosecha. Tesis Doctoral, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Avendaño-Romero, G.C., López-Malo, A., y Palou, E. 2013. Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1): 87-96. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla. México.

Buitrago A., Carolina; Saavedra M., Alejandra; Pinzón, Magda I. 2012. Conservación del melón cantaloupe (*Cucumis melo* L. Var. *Cantalupensis*) fresco cortado recubierto y almacenado en atmósferas modificadas. *Redalyc.org.*, 19 (1): 123-125. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914033>

Bertuzzi, M.A., Armada, M., Gottifredi, J. C., Aparicio, A. R., y Jiménez, P. 2002. Estudio de la permeabilidad al vapor de agua de los films comestibles para recubrir alimentos. *Producciones Científicas, Sección: Ciencias de la Ingeniería, Agronomía y Tecnología*. Universidad Nacional de Catamarca. Buenos Aires, Argentina.

Bosques Molina, E. 2003. Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka). Tesis Doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F.

Cian, R.E., Salgado, P.R., Drago, S.R., Gonzales, R.J., Mauri, A.N. 2014. Modificación de las propiedades fisicoquímicas de películas obtenidas a partir de biopolímeros extraídos del alga *Porphyra columbina* por agregado de glicerol y Ca^{+2} . Instituto de Tecnología de alimentos, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

Durango, A.M., Soares, N.F., y Arteaga, M.R. 2011. Filmes y revestimientos comestibles como empaques activos biodegradables en la conservación de alimentos. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 9 (1): 112-118.

Domínguez-Courtney, M.F., Jiménez-Munguía, M.T. 2012. Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos en Ingeniería de Alimentos*. 6 (2): 110-121. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla. México.

Escobar Gianni, D. V., Sala, A., Silveria, C., Harispe, R., y Márquez Romero, R. 2012. Vida útil de tapas de empanadas con películas biodegradables como separadores. *Revista de Laboratorio Tecnológico del Uruguay*. 7: 22-24.

Fishman, M. L., Coffin, D.R., Konstance, R. P., y Onwulata, C. I. 1999. Extrusion of pectin/starch blends plasticizer with glycerol. *Journal of Carbohydrate Polymers*. 41: 317-325.

Galus, S., Lenart, A. 2012. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *Journal of Food Engineering*. 115: 459-465.

Guillen-Román, C.J., Miranda-García M.F., Arredondo-Olarde, J., Guevara-González, R., y Pérez-Pérez, C.I. 2008. 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. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Gto. México.

Hernandez Carmona, G., Casas Valdez, M.M., Aguirre Vilchis, M. 1991. Proceso mejorado para la obtención de alginato de sodio a partir del alga *Macrocystis pyrifera**. *Inv. Mar. CICIMAR*, 6 (2): 260-266. Departamento de Pesquerías, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del I.P.N.

Krause Bierhalz, A.C., Altenhofen da Silva, M., y Guenter Kieckbusch. 2011. Natamycin release from alginate/pectin films for Food packaging applications. *Journal of Food Engineering*, 110: 18-25.

López, O.V., García, M.A y Zaritzky, N.E. 2008. Film forming capacity of chemically modified corn starches. *Carbohydrate Polymers*. 73:573-581.

Michaca España, MA. 2004. Efecto de la adición de glicerol como agente plastificante en las propiedades fisicoquímicas de las películas de zeína. Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México, D.F.

Martin-Belloso, O., Rojas-Grau, A., Oms-Oliu, G. 2014. Calidad de frutas frescas cortadas y películas comestibles. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Lleida, España.

Miramont, S. 2012. Recubrimientos elaborados a partir de biopolímeros para el soporte de sustancias con actividad antimicrobiana: Carvacrol y Sorbatos. Tesis de Maestría, UTN. BA, Escuela de Posgrado. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Márquez C, C.J., Cartagena V, J.R., y Pérez-Gago, M.B. 2009. Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad en poscosecha del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* T.). *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 16(3): 304-310. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Montalvo, C., López-Malo, A., y Palou. E. 2012. Películas comestibles de proteína: características, propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Alimentos*, 6(2): 32-46. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y ambiental, Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla. México.

Navarro Tarazaga, M.LI. 2007. Efecto de la composición de recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abeja en la calidad de ciruelas, naranjas y mandarinas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Oregel Zamudio, E. 2013. Aplicación de cubiertas comestibles formuladas con cera de candelilla para la conservación de fresa. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. Jiquilpan, Michoacán, México.

Pérez Espitia, P.J., Du, W.X., Avena-Bustillos, R.J., Ferreira Soares, N.F., y H. McHugh, T. 2013. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties – A review. *Journal of Food Hydrocolloids*. 35; 287-296.

Parzanese, M. 2014. Películas y recubrimientos comestibles. Tecnologías para la Industria alimentaria. Alimentos Argentinos. Ministerio de la Agricultura, ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. República Argentina. Disponible en http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_07_PeliculaComestible.pdf

Pérez T, A. F., Iburguen D, A.O., Pinzón F, M. 2012. Evaluación de transparencia y resistencia al vapor de agua en recubrimientos comestibles a base de gel de aloe Barbadensis Miller. *Vitae, Red de Revistas Científicas de América Latina*, 19 (1): 126-128. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Quintero, C.J., Falguera, V., y Muños, H.A. 2014. Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. Grupo CEDAGRITOL, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Tolima. Ibagué, Colombia.

Rivero, S., García, MA. y Pinotti, A. 2014, Propiedades reológicas, de barrera y mecánicas de películas compuestas de gelatina y quitosano. Facultad de Ciencias Exactas, Facultad de Ingeniería UNLP.

Rodríguez Turienzo, L. 2011. Evaluación de recubrimientos comestibles proteicos aplicados al salmón del Atlántico (Salmon salar) congelado: estudio de

diferentes formulaciones y tratamientos tecnológicos. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Ciencias, Campus de Lugo.

Rodríguez Sandoval, E., Sandoval Aldana, A., y Ayala Aponte, A. 2003. Hidrocoloides naturales de origen vegetal. *Investigaciones recientes y aplicaciones en la industria de alimentos*. 13: 4- 13.

Slavutsky, A., Armada, M., y Bertuzzi, A. 2014. Mejora de las propiedades de películas de almidón el agregado de nanoarcillas. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ingeniería. Instituto de Investigaciones para la Industria Química.

Sánchez-Villanueva, R., Fabra, M.J., y Talens, P. 2014. Recubrimientos comestibles a base de caseinato sódico con capacidad antioxidante. Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria. Departamento de tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Sabina, G., Andrzej, L. 2012. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *Journal of Food Engineering*, 115: 459-465.

Terrazas-Hernandez, J. A., Rodríguez-Hernandez, A.I., Vargas-Torres, A., Hernandez-Ávila, J., Romero-Bastida, C.A., Bello-Pérez, L.A., y Chavarría-Hernandez, N. 2010. Propiedades mecánicas y de permeabilidad de películas comestible elaboradas con polisacáridos de cascara de tuna (*Oponia albicarpa*) y gelana. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Gto. México.

Valle-Guadarrama, S., López-Rivera, O., Reyes-Vigil, M., Catillo-Merino, J., y Santos-Moreno, A. 2008. Recubrimiento comestible basado en goma arábica y carboximetilcelulosa para conservar frutas en atmosfera modificada. *Revista Chapingo serie Horticultura*, 14 (3): 235-241. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México.

Xiao, Q., Tong, Q. 2013. Thermodynamic properties of moisture sorption in pullulan-sodium alginate based edible films. *Journal of Food Research International*. 54: 1605-1612.

<i>F</i>	<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo I SS</i>	<i>Cuadrado de la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
	<i>FORMULA</i>	<i>14</i>	<i>0.00063367</i>	<i>0.00004526</i>	<i>0.42</i>	
	<i>0.9584</i>					

<i>F</i>	<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo III SS</i>	<i>Cuadrado de la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
	<i>FORMULA</i>	<i>14</i>	<i>0.00063367</i>	<i>0.00004526</i>	<i>0.42</i>	<i>0.9584</i>

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

<i>Tukey Agrupamiento</i>	<i>Media</i>	<i>N</i>	<i>FORMULA</i>
<i>A</i>	<i>0.043117</i>	<i>4</i>	<i>F</i>
<i>A</i>	<i>0.041148</i>	<i>4</i>	<i>L</i>
<i>A</i>	<i>0.038672</i>	<i>4</i>	<i>M</i>
<i>A</i>	<i>0.037148</i>	<i>4</i>	<i>A</i>
<i>A</i>	<i>0.036513</i>	<i>4</i>	<i>K</i>
<i>A</i>	<i>0.036195</i>	<i>4</i>	<i>I</i>
<i>A</i>	<i>0.036132</i>	<i>4</i>	<i>O</i>
<i>A</i>	<i>0.035890</i>	<i>4</i>	<i>H</i>
<i>A</i>	<i>0.035878</i>	<i>4</i>	<i>J</i>
<i>A</i>	<i>0.035878</i>	<i>4</i>	<i>C</i>
<i>A</i>	<i>0.034290</i>	<i>4</i>	<i>B</i>

A	0.033465	4	D
A	0.031623	4	G
A	0.031369	4	E
A	0.031242	4	N

Anexo 2. Análisis de varianza (ANOVA) para color.

Factor L* (Luminosidad).

Variable dependiente: L1

		Suma de	Cuadrado de		
Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	14	6.47957460	0.46282676	6.10	<.0001
Error	45	3.41674325	0.07592763		
Total correcto	59	9.89631785			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	L1 Media
		0.654746	0.292771	0.275550	94.11795

		Cuadrado de			
Fuente	DF	Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr >
<i>F</i>					
FORMULA	14	6.47957460	0.46282676	6.10	<.0001

		Cuadrado de			
Fuente	DF	Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr >
<i>F</i>					
FORMULA	14	6.47957460	0.46282676	6.10	<.0001

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	FORMULA
A	94.6703	4	B
A	94.5968	4	H
B A	94.4870	4	G
B A C	94.4546	4	L
B D A C	94.3721	4	N
E B D A C	94.2284	4	E

E	B	D	A	C	94.2036	4	F
E	B	D	A	C	94.0554	4	I
E	B	D	A	C	93.9839	4	C
E	B	D	A	C	93.9753	4	O
E	B	D		C	93.8441	4	A
E		D		C	93.7785	4	D
E		D		C	93.7563	4	M
E		D			93.7439	4	K
E					93.6193	4	J

Factor a*

Variable dependiente: A1

		Suma de	Cuadrado de		
Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	14	3.92546608	0.28039043	33.46	<.0001
Error	45	0.37704106	0.00837869		
Total correcto	59	4.30250715			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	A1 Media
		0.912367	-14.05441	0.091535	-0.651292

		<i>Cuadrado de</i>				
<i>F</i>	<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo I SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
	FORMULA	14	3.92546608	0.28039043	33.46	<.0001

		<i>Cuadrado de</i>				
<i>F</i>	<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo III SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
	FORMULA	14	3.92546608	0.28039043	33.46	<.0001

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

<i>Tukey Agrupamiento</i>	<i>Media</i>	<i>N</i>	<i>FORMULA</i>
<i>A</i>	<i>-0.08988</i>	<i>4</i>	<i>J</i>
<i>B</i>	<i>-0.43900</i>	<i>4</i>	<i>K</i>
<i>B</i>	<i>-0.44088</i>	<i>4</i>	<i>D</i>
<i>B</i>	<i>-0.47225</i>	<i>4</i>	<i>I</i>
<i>B</i>	<i>-0.54513</i>	<i>4</i>	<i>E</i>

<i>B</i>	-0.55838	4	<i>A</i>
<i>B</i>	-0.62275	4	<i>C</i>
<i>B</i>	-0.62338	4	<i>F</i>
<i>B</i>	-0.62625	4	<i>H</i>
<i>C B</i>	-0.66363	4	<i>G</i>
<i>C B</i>	-0.66750	4	<i>B</i>
<i>C D</i>	-0.88688	4	<i>L</i>
<i>D</i>	-1.01600	4	<i>M</i>
<i>D</i>	-1.02975	4	<i>O</i>
<i>D</i>	-1.08775	4	<i>N</i>

Factor b*

Variable dependiente: B1

<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado de la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
<i>F</i>					
<i>Modelo</i>	14	19.86366364	1.41883312	32.98	<.0001
<i>Error</i>	45	1.93605803	0.04302351		
<i>Total correcto</i>	59	21.79972167			

<i>R-cuadrado</i>	<i>Coef Var</i>	<i>Raíz MSE</i>	<i>B1 Media</i>
0.911189	3.491417	0.207421	5.940887

<i>Cuadrado de</i>						
<i>F</i>	<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo I SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
	FORMULA	14	19.86366364	1.41883312	32.98	<.0001

<i>Cuadrado de</i>						
<i>F</i>	<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo III SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
	FORMULA	14	19.86366364	1.41883312	32.98	<.0001

Medias con la misma letra no son significativamente diferente

<i>Tukey Agrupamiento</i>	<i>Media</i>	<i>N</i>	<i>FORMULA</i>
A	6.9015	4	N
A	6.7020	4	M
A	6.6921	4	O

B	A	6.5888	4	K
B	A	6.4928	4	J
B	C	6.1023	4	I
B	C	6.0751	4	L
D	C	5.7344	4	G
D		5.5246	4	C
D		5.4999	4	F
D		5.4571	4	E
D		5.4051	4	H
D		5.4031	4	D
D		5.3073	4	A
D		5.2274	4	B

Anexo 3. Análisis de varianza (ANOVA) para transmitancia.

Variable dependiente: T1

<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado de la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr > F</i>
<i>Modelo</i>	<i>14</i>	<i>0.09718151</i>	<i>0.00694154</i>	<i>1.21</i>	<i>0.3041</i>
<i>Error</i>	<i>45</i>	<i>0.25889438</i>	<i>0.00575321</i>		
<i>Total correcto</i>	<i>59</i>	<i>0.35607589</i>			

<i>R-cuadrado</i>	<i>Coef Var</i>	<i>Raíz MSE</i>	<i>T1 Media</i>
0.272924	6.645300	0.075850	1.141407

<i>Cuadrado de</i>						
<i>F</i>	<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo I SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
	FORMULA	14	0.09718151	0.00694154	1.21	0.3041

<i>Cuadrado de</i>						
<i>F</i>	<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo III SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
	FORMULA	14	0.09718151	0.00694154	1.21	0.3041

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

<i>Tukey Agrupamiento</i>	<i>Media</i>	<i>N</i>	<i>FORMULA</i>
A	1.21409	4	N
A	1.18896	4	C

A	1.18650	4	G
A	1.17177	4	B
A	1.15868	4	L
A	1.15631	4	J
A	1.14824	4	E
A	1.14353	4	K
A	1.13691	4	A
A	1.12737	4	F
A	1.12434	4	O
A	1.11710	4	I
A	1.10347	4	H
A	1.09458	4	D
A	1.04925	4	M

Anexo 4. Análisis de varianza (ANOVA) para Unidades de absorbancia por longitud de onda.

Variable dependiente: O1

<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado de la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr > F</i>
<i>Modelo</i>	14	0.00002224	0.00000159	1.60	0.1154

<i>Error</i>	45	0.00004458	0.00000099
<i>Total correcto</i>	59	0.00006682	

<i>R-cuadrado</i>	<i>Coef Var</i>	<i>Raíz MSE</i>	<i>O1 Media</i>
0.332798	30.21486	0.000995	0.003294

<i>Cuadrado de</i>					
<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo I SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr > F</i>
<i>FORMULA</i>	14	0.00002224	0.00000159	1.60	0.1154

<i>Cuadrado de</i>					
<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo III SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr > F</i>
<i>FORMULA</i>	14	0.00002224	0.00000159	1.60	0.1154

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

<i>Tukey Agrupamiento</i>	<i>Media</i>	<i>N</i>	<i>FORMULA</i>
A	0.0041672	4	F
A	0.0040918	4	H

A	0.0037917	4	O
A	0.0036697	4	I
A	0.0036677	4	A
A	0.0036327	4	M
A	0.0035347	4	L
A	0.0034502	4	K
A	0.0033590	4	D
A	0.0032111	4	E
A	0.0031254	4	J
A	0.0027452	4	B
A	0.0027369	4	C
A	0.0021458	4	N
A	0.0020835	4	G

Anexo 5. Análisis de varianza (ANOVA) para permeabilidad al vapor de agua.

Variable dependiente: PERM

<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado de la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
<i>F</i>					

<i>Modelo</i>	44	1328.460467	30.192283	1.22	0.2136
<i>Error</i>	90	2230.272964	24.780811		
<i>Total correcto</i>	134	3558.733431			

<i>R-cuadrado</i>	<i>Coef Var</i>	<i>Raíz MSE</i>	<i>PERM Media</i>
0.373296	62.41651	4.978033	7.975507

<i>Cuadrado de</i>					
<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo I SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr > F</i>
<i>FORMULA</i>	14	405.4386865	28.9599062	1.17	0.3130
<i>WVP</i>	2	288.4688264	144.2344132	5.82	0.0042
<i>FORMULA*WVP</i>	28	634.5529541	22.6626055	0.91	0.5927

<i>Cuadrado de</i>					
<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo III SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
<i>FORMULA</i>	14	405.4386865	28.9599062	1.17	0.3130
<i>WVP</i>	2	288.4688264	144.2344132	5.82	0.0042

FORMULA*WVP 28 634.5529541 22.6626055 0.91 0.5927

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

<i>Tukey Agrupamiento</i>	<i>Media</i>	<i>N</i>	<i>FORMULA</i>
A	11.645	9	F
A	11.012	9	L
A	9.878	9	B
A	9.119	9	J
A	9.007	9	A
A	7.980	9	M
A	7.878	9	C
A	7.306	9	I
A	7.156	9	O
A	7.031	9	D
A	6.674	9	G
A	6.576	9	K
A	6.539	9	N
A	6.182	9	H
A	5.648	9	E

Anexo 6. Análisis de varianza (ANOVA) para solubilidad.

Variable dependiente: SOL1

		<i>Suma de</i>	<i>Cuadrado de</i>		
<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>cuadrados</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr > F</i>
<i>Modelo</i>	14	1.26209398	0.09014957	2.08	0.0326
<i>Error</i>	45	1.95480606	0.04344013		
<i>Total correcto</i>	59	3.21690004			

R-cuadrado *Coef Var* *Raíz MSE* *SOL1 Media*
 0.392332 23.43620 0.208423 0.889321

			<i>Cuadrado de</i>		
<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo I SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
<i>F</i>					
<i>FORMULA</i>	14	1.26209398	0.09014957	2.08	0.0326

			<i>Cuadrado de</i>		
<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>Tipo III SS</i>	<i>la media</i>	<i>F-Valor</i>	<i>Pr ></i>
<i>F</i>					

FORMULA 14 1.26209398 0.09014957 2.08 0.0326

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

<i>Tukey Agrupamiento</i>	<i>Media</i>	<i>N</i>	<i>FORMULA</i>
A	1.1158	4	O
A	1.1061	4	E
A	1.0277	4	I
A	1.0018	4	N
A	0.9812	4	C
A	0.9787	4	L
A	0.9225	4	M
A	0.9077	4	K
A	0.8436	4	H
A	0.8232	4	D
A	0.8149	4	B
A	0.7669	4	A
A	0.7471	4	J
A	0.7104	4	G
A	0.5921	4	F

Anexo 7. Análisis de varianza (ANOVA) para Humedad.

Variable dependiente: H1

		Suma de	Cuadrado de		
	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr >
<i>F</i>					
Modelo	14	0.56008440	0.04000603	8.19	<.0001
Error	45	0.21969042	0.00488201		
Total correcto	59	0.77977481			
		R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	H1 Media
		0.718264	6.025077	0.069871	1.159676

			Cuadrado de		
	DF	Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
FORMULA	14	0.56008440	0.04000603	8.19	<.0001

			Cuadrado de		

Fuente	DF	Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
FORMULA	14	0.56008440	0.04000603	8.19	<.0001

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	FORMULA
A	1.32284	4	J
A	1.31798	4	I
B A	1.23828	4	M
B A	1.23702	4	K
B A C	1.21746	4	E
B A C	1.21060	4	H
B D A C	1.18717	4	A
E B D A C	1.16069	4	D
E B D C	1.13837	4	G
E B D C	1.13143	4	B
E B D C	1.08585	4	L
E B D C	1.06314	4	N
E D C	1.05446	4	F
E D	1.03057	4	C
E	0.99928	4	O

