

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



TESIS

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CERA DE CANDELILLA Y
PLASTIFICANTE SOBRE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS Y DE
BARRERA DE UNA PELÍCULA FUNCIONAL A BASE DE
CARRAGENINA, CANDELILLA Y ACEITE DE TOMILLO

POR

BETSABE DIAZ SANTOYO

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México.

Mayo, 2018

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CERA DE CANDELILLA Y TIPOS DE
PLASTIFICANTES SOBRE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS Y DE BARRERA DE
UNA PELÍCULA A BASE DE CARRAGENINA, CANDELILLA Y ACEITE DE
TOMILLO**

POR

BETSABE DÍAZ SANTOYO

TESIS

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

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



Dra. Xóchitl Ruelas Chacón
Asesor principal



M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla
Asesor



Dr. Antonio Francisco Aguilera Carbó
Asesor



Dr. José Dúñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México.

Mayo, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CERA DE CANDELILLA Y TIPOS DE
PLASTIFICANTES SOBRE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS Y DE BARRERA DE
UNA PELÍCULA A BASE DE CARRAGENINA, CANDELILLA Y ACEITE DE
TOMILLO

POR

BETSABE DÍAZ SANTOYO

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

JURADO CALIFICADOR

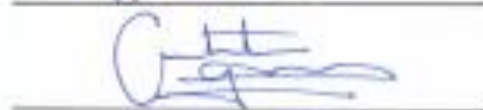
Dra. Xochitl Ruelas Chacón
Presidente del jurado



M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla
Vocal



Dr. Antonio Francisco Aguilera Carbó
Vocal



M. E. Laura Olivia Fuentes Lara
Vocal



Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2018

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Por darme la vida y con ello la salud, la oportunidad de respirar día con día, y enseñarme a disfrutar a cada una de las personas que está a mi lado, por darme la esperanza de que los sueños se pueden realizar si te lo propones, y darme una familia que me enseñó valores, y principios.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Que me abrió la puerta de cada una de sus aulas que estaban llenas de risas alegres de mis amigos, compañeros y maestros, recuerdos que permanecerán siempre en mi corazón. Por darme la oportunidad de conocer amigos de distintos estados que nunca imagine conocer y formarme en un ingeniero, porque siempre me recordó el valor de humildad, por eso y más Mi Alma Terra Mater GRACIAS.

A la profesora *Xochitl Ruelas Chacón* por dedicar su tiempo y apoyo incondicional para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis Padres

Jesús Cesar y Guíllermína

Que siempre creyeron en mí, y estuvieron en mis días de desvelo, angustia, incluso enfermedad. A ellos quienes siempre me dieron su amor, paciencia y apoyo. A ellos que no me negaron la oportunidad de estudiar mi carrera universitaria lejos de mi hogar.

A mi Hermana Ruth

Que me puso el ejemplo de que nunca me diera por vencida, incluso que nunca es tarde para empezar algo nuevo, pues yo podría llegar lejos si me lo proponía.

A mi Mejor Amigo Cesar

Que nunca dejo de creer en mí, que siempre me regalo una sonrisa en mis días de tristeza. A el que me dio los mejores momentos de mi vida.

A mi Tía Ma. Fátima Díaz Esquível

Quien siempre me dio su apoyo incondicionalmente. A ella quien siempre me aconsejo que estudiar me abriría muchas puertas, y me daría la oportunidad de conocer un poco más del mundo exterior.

A mi Tía Ma. Elvía Díaz Esquível

Quien siempre me dijo que el tiempo es lo más valioso que podemos tener en nuestras manos y de mí dependería aprovecharlo día a día.

A mis Abuelitos

Lázaro y Josefa

Quienes siempre me dieron su calor y me aconsejaron que cada cosa que yo quisiera tener lo tenía que conseguir por mis méritos y esfuerzo solo así valoraría lo que tengo.

Bernarda y Lucío

A ellos que no tuve la oportunidad de conocer mucho, pero sé que siempre me acompañan y cuidan de mí.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XII
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo general:	4
1.1.2 Objetivos específicos:	4
1.2 Hipótesis:	4
1.3 Justificación.....	5
CAPÍTULO II.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Películas comestibles.....	6
2.1.1 Definición	6
2.2 Aspectos generales de los empaques	7
2.2.1 Películas biodegradables	10
2.2.2 Polímeros de origen natural	11
2.2.3 Ceras.....	11

2.2.4	Polímeros de origen sintético	11
2.3	Uso de películas y recubrimientos comestibles.....	11
2.4	Propiedades funcionales de las películas comestibles	13
2.4.1	Barrera a la transferencia de materia y a la luz.....	14
2.4.2	Mejora de las propiedades sensoriales del alimento.....	15
2.5	Antecedentes del uso de recubrimientos	15
2.6	Componentes de los recubrimientos comestibles y aplicaciones.....	16
2.6.1	Hidrocoloides	17
2.6.2	Lípidos.....	18
2.6.3	Compuestos	18
2.6.4	Polisacáridos.....	18
2.7	Aditivos naturales en los RC y PC	19
2.8	Situación legal de los RC y las PC.....	20
2.8.1	Legislación relacionada con las películas y recubrimientos comestibles	20
2.9	Tendencias actuales en RC y PC	21
2.10	Tecnologías para la aplicación de RC y PC.....	22
2.11	Propiedades mecánicas y de barrera de las películas comestibles	23
2.12	Permeabilidad	25
2.12.1	Permeabilidad al oxígeno.....	26
2.12.2	Efecto del espesor	27
2.12.3	Efectos del contenido de plastificante	27
2.13	Generalidades de la cera de candelilla	28
2.13.1	Aplicaciones	31

2.14	Los plastificantes y el glicerol.....	35
2.15	Carragenina	38
2.15.1	Estructura.....	38
2.16	Tensoactivos, Emulsificantes, y/o surfactantes (Tween).....	41
2.16.1	Descripción	41
2.16.2	Propiedades y usos.....	41
2.17	Aceites de tomillo (Thymus Vulgaris L.)	43
2.17.1	Toxicidad del aceite de tomillo	43
2.17.2	Conservante natural	44
	CAPÍTULO III.....	45
	MATERIALES Y MÉTODOS	45
3.1	Etapa experimental. Elaboración de una película comestible a base de candelilla, plastificantes y carragenina.....	47
3.1.1	Formulaciones.....	47
3.1.2	Formación de las películas.....	47
3.2	Determinación de los parámetros fisicoquímicos	48
3.2.1	Color.....	48
3.2.2	Grosor	48
3.2.3	Determinación de opacidad.....	49
3.2.4	Determinación de Transmitancia.....	50
3.2.5	Contenido de humedad.....	50
3.2.6	Solubilidad.....	53
3.2.7	Permeabilidad	55

CAPÍTULO IV	56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1 Análisis de color	56
4.1.1 Luminosidad.....	57
4.1.2 Cromaticidad a*	58
4.1.3 Cromaticidad b*	59
4.2 Grosor	60
4.3 Opacidad.....	61
4.4 Determinación de transmitancia.....	62
4.5 Contenido de humedad	63
4.6 Solubilidad.....	64
4.7 Permeabilidad	66
CAPÍTULO V	68
CONCLUSIONES	68
CAPÍTULO VI	70
BIBLIOGRAFÍA	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Plásticos derivados del petróleo utilizados en el envasado de alimentos..	10
Cuadro 2. Propiedades funcionales de películas y recubrimientos comestibles en alimentos.....	14
Cuadro 3. Principales materias primas utilizadas en películas comestibles.....	17
Cuadro 4. Propiedades de la cera de candelilla.....	28
Cuadro 5. Tipos de carragenina.....	38
Cuadro 6. Nivel (%) de las formulaciones de las películas comestibles.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formulación de películas comestibles (PC).	6
Figura 2. Película comestible.	9
Figura 3. Transferencia que pueden ser controladas por barreras comestibles.	12
Figura 4. RC y PC como soporte de aditivos.	13
Figura 5. Extracción de la cera de candelilla.	29
Figura 6. a) Planta de candelilla y b) candelilla refinada.	31
Figura 7. Estructura molecular del glicerol.	37
Figura 8. Colorímetro.	48
Figura 9. Determinación del grosor con un micrómetro Mitutyó.	49
Figura 10. A) Celdillas de cuarzo B) Espectrofotómetro.	49
Figura 11. Medición de transmitancia con espectrofotómetro.	50
Figura 12. A) Cajas de aluminio con películas de 2x2 y conos de papel filtro Whatman.	51
Figura 13. Peso de la película y cono en la balanza analítica (OHAUS ADVENTURER).	51
Figura 14. Conos colocados en el horno Quincy Lab junto con la charola con película.	52
Figura 15. Peso de la charola con película y cono después de 24 horas.	52
Figura 16. Muestra seca colocada en vaso de precipitación con agitación de 400 rpm.	54
Figura 17. A) Muestra filtrada con ayuda de cono de papel Whatman B) Muestras colocadas en charolas de aluminio.	54
Figura 18. Conos colocados en estufa.	54
Figura 19. Material empleado para la determinación de permeabilidad.	55
Figura 20. Comportamiento del eje "L" de la variable de color.	57
Figura 21. Comportamiento de eje "a" de la variable de color.	58
Figura 22. Comportamiento del eje "b" de la variable de color.	59
Figura 23. Comportamiento de la variable grosor.	60
Figura 24. Comportamiento de la variable de opacidad a 500 nm.	61
Figura 25. Comportamiento de la variable de transmitancia a 600 nm.	62
Figura 26. Gráfica de porcentaje de humedad a base de cera de candelilla, plastificantes y carragenina.	64
Figura 27. Gráfica de solubilidad a base de cera de candelilla, plastificantes y carragenina.	65
Figura 28. Comportamiento de tres diferentes porcentajes (100%, 85%, 75%) que se manejaron en esta variable.	66

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el propósito de evaluar el efecto de la concentración de cera de candelilla y plastificante sobre las propiedades ópticas y de barrera de una película funcional a base de carragenina, candelilla y aceite de tomillo. Se realizaron diferentes formulaciones con distintas concentraciones de candelilla, carragenina y aceite de tomillo.

Se evaluaron las principales características tales como color, opacidad, transmitancia, humedad, solubilidad y permeabilidad. Cuando se midió el color al momento de comparar los parámetros de luminosidad L^* , a^* y b^* . Se notó una gran diferencia entre ambas, las formulaciones que se destacaron más por su alto valor numérico fueron en L^* la formulación A con 90.94, en a^* la formulación G con 0.49 y en b^* la formulación H con 10.07. En cuanto al grosor las formulaciones B, F, H, I y J, fueron las que presentaron mayor grosor. Al momento de comparar los datos de opacidad de las formulaciones no se encontró diferencia significativa en cuanto a valores numéricos, pero a simple vista si se notó una diferencia significativa en las formulaciones A y la I, las cuales tuvieron valores altos comparadas con las demás. En transmitancia la formulación con mayor valor numérico fue la D con 3.60 y la más baja fue la formulación G con 3.13. El análisis de solubilidad la formulación con menos valor numérico fue la B con un valor numérico de 96.01. La formulación con mayor contenido de humedad fue la muestra J con 2.99. De igual manera al comparar los resultados de permeabilidad las formulaciones que presentaron mejores propiedades fueron las formulaciones C al 100%, D al 85% y E al 75%.

Palabras clave: películas comestible, cera de candelilla, plastificantes, carragenina.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una mayor demanda de alimentos más sanos saludables y más naturales para el consumo humano. Dadas las circunstancias se han desarrollado nuevas tecnologías naturales para la conservación de estos. En los últimos años, la investigación se ha centrado en la búsqueda de sustancias naturales que actúan como antimicrobianos y antioxidantes alternativos en las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, con el fin de reducir los efectos negativos del proceso de maduración, mejorar la calidad de los alimentos e impactar positivamente en la calidad de los mismos (De León *et al.*, 2015).

Una de estas alternativas es el uso de recubrimientos comestibles. Se define como un material de cobertura que se aplica a los alimentos comestibles para mejorar la apariencia, siendo una barrera efectiva a la transmisión de gases, humedad, oxígeno, dióxido de carbono y aromas, reduciendo el proceso de maduración, prolongando la vida y calidad de las verduras o frutas.

Para que la eficiencia de las películas y recubrimientos comestibles sea eficaz se debe tomar en cuenta las propiedades del alimento, así como sus propiedades de barrera con la que cuenta cada uno. De esta manera se definirá el tipo de material y biopolímero que puede llegar a usarse, ya que cada vez es mayor la importancia de conservar los alimentos para la industria.

Algunos de los recubrimientos más utilizados son los polisacáridos (almidón, derivados de celulosa, pectina, alginato, quitosano) y proteínas (colágeno, gelatina, proteínas de la leche, proteínas de soja, albúmina, gluten, zeína).

Al seleccionar el tipo de polímero con el que se pretende trabajar se debe de tomar en cuenta que este sea accesible, económico y con un valor nutricional agregado, ya que lo que se pretende es abastecer a la población con productos de calidad y les garantice que lo obtendrán fácilmente. Algunos biopolímeros pueden causar problemas tales en el caso de la soja o proteínas de almidón por estar en competencia con los almidones. Ya que se sabe que algunas personas son alérgicas a las proteínas y lo que se pretende es tener cuidado con la salud de los consumidores (De León *et al.*, 2015).

Hay algunos polisacáridos y proteínas que cuentan con excelentes propiedades, que pueden ser explotadas, pero debido a su naturaleza hidrofílica presenta una desventaja, la cual es que forman barreras débiles ante la presencia de humedad, dadas las circunstancias se utilizan mezclas con lípidos para evitar el paso de la humedad.

Es por eso que existen motivos hasta la fecha para realizar estudios intensivos en la incorporación de grasas, ácidos grasos y ceras en películas de biopolímeros para mejorar sus propiedades ante la presencia de la humedad.

Existen antecedentes de uso de cera de candelilla como agente para recubrir y mejorar la apariencia de diversos frutos sin embargo, existen muy pocos estudios en la literatura que demuestran el empleo de dicha cera en la formulación de cubiertas comestibles activas (De León *et al.*, 2015).

Se dice que las ceras son la mejor barrera para prevenir la humedad. Las mejores ceras de uso comercial utilizadas son la cera de abeja (BW), cera de candelilla (CNW), y cera de carnauba (CRW). Estas ceras son grasas naturales, libres de causar daños a los consumidores, aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos por sus siglas en inglés (FDA), como uso en recubrimiento en frutas y verduras, bebidas y productos de confitería.

La cera de candelilla es utilizada actualmente como un método de conservación ya que ayuda a prolongar la vida de anaquel y mejora la calidad de frutas y verduras. Se obtiene de las hojas y tallos de arbustos de Candelilla (comúnmente de la *Euphorbia cerifera* planta, Syn. *Antisyphilitica Euphorbia*) esta planta se encuentra de manera silvestre en el norte de México y el sur de Texas. Para poder extraer cera de la planta se emplean dos métodos el primero es por ebullición del material vegetal y el segundo es por extracción con benceno.

Una de las principales ventajas de la cera de candelilla en el uso de recubrimientos para frutas u hortalizas es su alta permeabilidad lo que permite que los productos cubiertos posean adecuados niveles internos de O₂ y de CO₂, lo que disminuye el desarrollo de sabores extraños provocados por la aparición de microorganismos. Es necesaria la caracterización de estas formulaciones para su posible aplicación en la conservación de alimentos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general:

Investigar el efecto de la concentración de cera de candelilla (1.0 y 1.5% w/v), del biopolímero (carragenina: 1.0, 1.5% w/v) y tipo de plastificante (glicerol, 1.0, 1.5 y 2.0%, w/v) y aceite de tomillo sobre algunas propiedades físicas y ópticas sobre la película de carragenina.

1.1.2 Objetivos específicos:

Desarrollar las formulaciones de las películas utilizando 1.5 y 10% w/v de cera de candelilla, 1.0, 1.5% w/v, del biopolímero y plastificantes, y utilizando la misma concentración de tween-80 (1.5% v/v) y del aceite de tomillo (0.060 v/v).

Analizar color, porcentaje de humedad, porcentaje de solubilidad, densidad, grosor y permeabilidad al vapor de agua a 75, 85 y 100% de humedad relativa de cada formulación.

1.2 Hipótesis:

Las películas comestibles formuladas a base de carragenina, candelilla y aceite de tomillo, generan emulsiones estables y homogéneas, permitiendo obtener películas comestibles con una estructura firme y resistente ante la presencia de la humedad.

1.3 Justificación

Debido a que nos enfrentamos a una creciente población tan ocupada a un sinnúmero de actividades que le dedican poco tiempo a la cuestión alimentaria. Surge una mayor demanda por productos de calidad y su forma de conservación sea sin el uso de tantos conservadores sino más bien con ingredientes naturales y el aspecto del alimento sea lo más parecido a un producto fresco, hay inquietud de realizar investigaciones sobre las nuevas tecnologías naturales como películas comestibles y recubrimientos comestibles, ya que estas cuentan con algunas características que ayudan a prolongar la vida de anaquel del producto, también cumple con la función de empaque. Los materiales con los que se hacen las películas comestibles generalmente son polisacáridos, lípidos, hidrocoloides y otros compuestos. Debido a que forman una buena barrera contra el agua, son fáciles de conseguir y lo mejor de todo que son económicos. Cabe de destacar que la candelilla presenta buenas propiedades contra la permeabilidad del agua, se obtiene de manera silvestre, es así que despierta un mayor interés por explotar a esta planta como ingrediente principal en la elaboración de películas comestibles esperando tener buenos resultados para poder ser aplicada a ciertos alimentos garantizando su calidad.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Películas comestibles

2.1.1 Definición

Los términos recubrimientos comestibles (RC) y películas comestibles (PC) se utilizan indistintamente para referirse a la aplicación de matrices transparentes y comestibles sobre las superficies de los alimentos, con el propósito de servir de empaque y de preservar su calidad. Pero ambos se distinguen por el modo en que son obtenidos y aplicados sobre el producto. Un RC es una matriz fina y continua que se dispone sobre la superficie del alimento mediante la inmersión o aplicación de un spray de la solución filmogénica formulada. En cambio las PC son matrices preformadas, obtenidas por moldeo, cuyo espesor es siempre mayor al de los RC. Estas son aplicadas sobre la superficie o como separador de los distintos componentes de un alimento, luego de ser producidas (Parzanese., 2016). La Figura 1 muestra la formación de películas comestibles (PC).



Figura 1. Formulación de películas comestibles (PC).

2.2 Aspectos generales de los empaques

El deterioro de los alimentos durante el almacenamiento se puede retardar al hacer mejoras en el empaque. Es necesario que el empaque proteja al producto del medio ambiente principalmente de los gases y la humedad, además es deseable que éste funcione como barrera protectora contra los microorganismos que pueden atacar al alimento. De igual manera se busca reducir la contaminación generada por envases alimenticios hechos con plástico (Domínguez y Jiménez, 2012).

Un empaque es aquel material que cubre todas las funciones que corresponden a envolver, contener y proteger los productos para su transporte, venta y consumo. Los materiales que se utilizan tradicionalmente como empaque de alimentos son plásticos sintéticos a partir de hidrocarburos. Los plásticos sintéticos brindan buena protección contra el deterioro y tienen facilidad para integrarse entre ellos, no son susceptibles a la fragmentación y permiten obtener diferentes estructuras y diseños con costos accesibles (Cruz-Marfin *et al.*, 2013).

El envasado es de vital importancia en los productos alimentarios, ya que de este dependerá la conservación de la calidad del alimento. El envasado tiene la función de proteger al producto de los posibles daños por microorganismos y de cambios en sus atributos sensoriales, así como prolongar la vida de anaquel, de igual manera funciona como contenedor, es de suma importancia para el marketing dado que este resalta los atributos del producto (Parzanese., 2016).

Debido al auge de la sustentabilidad, se pretende que los materiales empleados en la fabricación de envases sean amigables con el medio ambiente. Como resultado a estas necesidades, surgieron los materiales biodegradables, siendo una alternativa válida para dejar los plásticos tradicionales que se obtienen a partir de petróleo, y requieren un tiempo de doscientos años aproximadamente para que se desintegren de manera natural (Parzanese., 2016).

Como precaución de sustituir empaques plásticos por empaques biodegradables, actualmente existen estudios de películas comestibles (Domínguez y Jiménez, 2012). En el caso de los alimentos, una alternativa es el uso de envases comestibles como recubrimiento, los cuales serán los encargados de proteger al alimento con el propósito de brindarles propiedades funcionales específicas como retardar la migración de humedad, retardar el transporte de gases (O_2 , CO_2), la migración de aceites y grasas, el transporte de solutos, retener compuestos volátiles, conservar el sabor y soportar aditivos alimentarios, dándoles así a los consumidores productos saludables y de calidad (Famá *et al.*, 2009).

Se le conoce como plásticos biodegradables a aquellos materiales que al ser expuesto ante la presencia de humedad, flora microbiana y oxígeno durante varios meses, son transformadas en sustancias más sencillas (principalmente agua y dióxido de carbono (CO_2) y biomasa mediante la acción enzimática de los microorganismos (bacterias, hongos etc.) presentes en el medio ambiente. Los grupos estructurales de plásticos de este tipo son polímeros biodegradables, estos se adquieren principalmente de materias primas renovables de origen animal, vegetal aunque también se obtiene sintéticamente mediante derivados de petróleo. La Figura 2 muestra una película comestible. Estos materiales son usados actualmente en diversos sectores tales como medicina, agricultura, alimentación, envase y embalaje etc. Son materiales biodegradables, pero para la realización de cada uno de estos se tomó en cuenta la función que estos tendrían (Parzanese, 2016).

En la producción de alimentos estos polímeros son empleados como base para la fabricación de empaques biodegradables (mono y multicapas), empaques activos, Películas Comestibles (PC) y Recubrimientos Comestibles (RC) sobre la superficie de fruta, carnes, pescados entre otros alimentos, como también en la elaboración de alimentos para obtención de estabilizantes y gelificantes (Parzanese, 2016).



Figura 2. Película comestible.

Las tecnologías que destacan por cumplir con las exigencias de los consumidores actuales son PC y RC porque son saludables, mínimamente procesados, además no cuentan con la adición de agentes químicos. Siendo así una alternativa con más futuro en el campo del envasado y conservación de alimentos (Parzanese., 2016).

Los biopolímeros se generan por sistemas biológicos, o pueden ser sintetizados químicamente a partir de materiales de origen renovable, por lo que una característica fundamental de los biopolímeros es que su degradación se presenta en lapsos de tiempo cortos, desde semanas a pocos meses (Cruz-Marfin *et al.*, 2013). El cuadro 1 muestra plásticos derivados del petróleo utilizados en el envasado de alimentos.

Cuadro 1. Plásticos derivados del petróleo utilizados en el envasado de alimentos

Tipo	Material	Abreviatura	Aplicación
1	Poliétileno tereftalato	PET	Botellas
2	Poliétileno de alta densidad	PEAD	Botellas, bandejas
3	Policloruro de vinilo	PVC	Películas flexibles
4	Poliétileno de baja densidad	PEBD	Películas, bolsas
5	Polipropileno	PP	Películas flexibles
6	Poliestireno	Ps	Bandejas, tarrinas
7	Otros	Policarbonatos, resinas epoxi, etc,	

Adaptados por: López de lacey, 2013

2.2.1 Películas biodegradables

Un empaque biodegradable está definido por la ASTM como aquel que es capaz, de descomponerse en bióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa, siendo el mecanismo dominante de descomposición la acción enzimática de los microorganismos y que los productos resultantes pueden ser obtenidos y medidos en un periodo determinado de tiempo (Rubio-Anaya *et al.*, 2012).

Existen dos tipos de biodegradación, la aerobia y la anaerobia. La biodegradación aerobia ocurre en presencia de oxígeno; los productos resultantes de este proceso de degradación son biomasa, dióxido de carbono, agua y compuestos inorgánicos. La biodegradación anaerobia no necesita oxígeno y los productos resultantes son biomasa, metano, metabolitos intermedios y compuestos inorgánicos. El grado de biodegradación del empaque va a depender de las condiciones ambientales tales como temperatura, humedad, presión parcial del oxígeno, composición de la flora microbiana y pH del suelo.

Los materiales utilizados para la elaboración de empaques biodegradables pueden ser polímeros de origen natural (proteínas, almidón, lípidos, quitosano, entre otros) o de origen sintético (polihidroxialcanoatos y ácido poliláctico).

2.2.2 Polímeros de origen natural

Entre los polímeros de origen natural que están siendo utilizados para la elaboración de películas biodegradables se encuentran proteínas como colágeno, queratina, gelatina, gluten de maíz, gluten de trigo, proteínas de leche, proteínas de soya, entre otras; polisacáridos como almidón, derivados de celulosa, quitosano, alginato, carragenatos, pectinas, entre otras; y lípidos como ceras, ácidos grasos y monoglicéridos (Rubio- Anaya *et al.*, 2012).

2.2.3 Ceras

Son los compuestos comestibles más eficientes para ser utilizados como barrera a la humedad. Sirven como barrera para los gases y mejoran la apariencia superficial de varios alimentos. Si se aplica como una capa gruesa, como en los quesos, deben ser removidas antes de su consumo; cuando se aplican como capas delgadas, como en las frutas y vegetales crudas, son consideradas comestibles (Rubio-Anaya., 2012).

2.2.4 Polímeros de origen sintético

Los polímeros de origen sintético biodegradables, son resultado de la fermentación de polímeros primarios (celulosa, almidón, proteínas, pectinas, entre otros) empleados como sustratos por diferentes microorganismos, obteniendo diferentes productos finales tales como el ácido poliláctico (PLA), polihidroxicano (Rubio-Anaya., 2012).

2.3 Uso de películas y recubrimientos comestibles

Hasta la fecha el uso de películas se ha extendido a una gran variedad de alimentos, algunos de ellos tales como productos cárnicos, pescado y carne aviar tanto frescos como congelados, frutas y hortalizas enteras o en trozos, quesos, platos preparados entre otros. Debido al desarrollo de formulaciones innovadoras respecto a los biopolímeros utilizados para su composición. Dependiendo el tipo de biopolímero con que se elaboren las PC o RC, polisacáridos, lípidos que contenga la PC o RC sus

características y funciones será totalmente diferentes, esto debido a la composición química y estructural de cada uno de los biopolímeros. Estas funciones están asociadas a la conservación de la calidad de los alimentos en los cuales se aplica en la superficie actuando como barrera protectora ante la presencia de sustancias, desde el alimento hacia el exterior y viceversa tal como se muestra un la figura 3 (Parzanese, 2016).

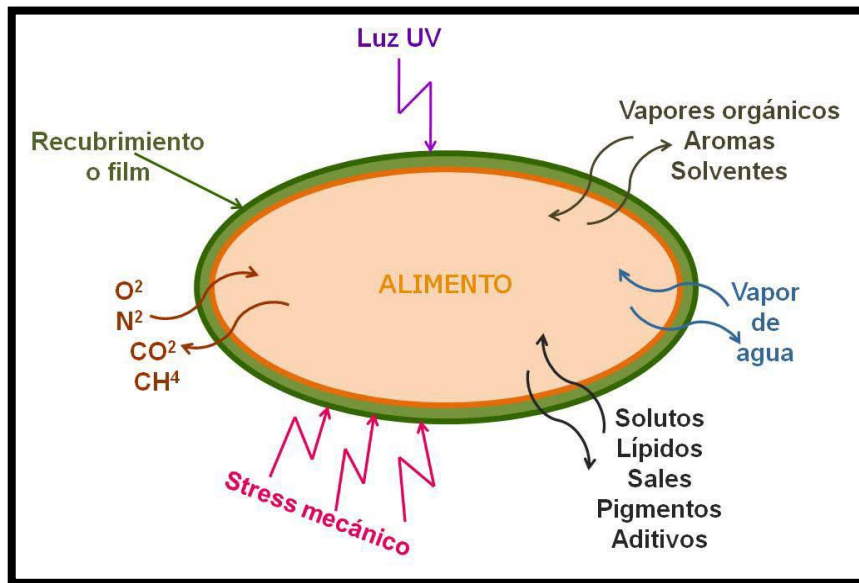


Figura 3. Transferencia que pueden ser controladas por barreras comestibles.

Una de las funciones importantes de las PC y RC es su habilidad para incorporar ingredientes activos, estas pueden servir como soporte de aditivos capaces de conservar y mejorar la calidad del producto. Se utilizan en frutas cortadas para mejorar su calidad y vida útil con la incorporación de antioxidantes, antimicrobianos mejoradores de textura. De igual manera se puede utilizar como alternativa a la aplicación de antimicrobianos por el método de inmersión, esta técnica provoca difusión de los agentes antimicrobianos en el interior del producto provocando pérdida de efectividad de estos agentes por no alcanzarse la concentración mínima

necesaria para la inhibición del crecimiento de microorganismos como se ilustra en la Figura 4 (Parzanese, 2016).

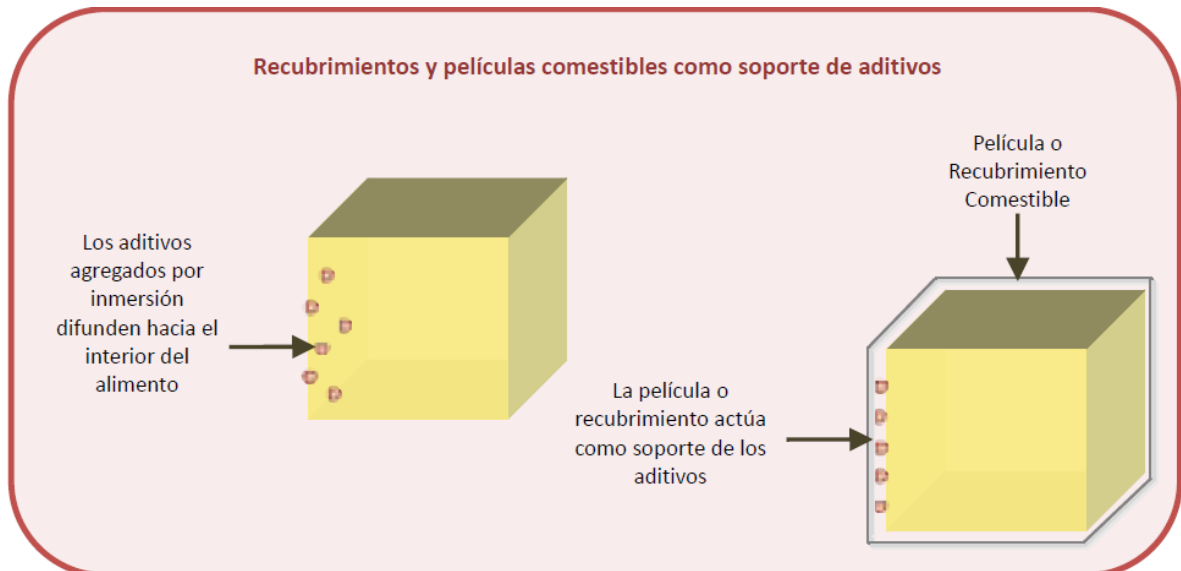


Figura 4. RC y PC como soporte de aditivos.

2.4 Propiedades funcionales de las películas comestibles

Las características funcionales importantes de una película comestible dependerán de la aplicación particular al producto alimenticio y de su modo primario de deteriorarse (Avila-Sosa *et al*, 2008). En el cuadro 2 se mencionan algunas de las propiedades funcionales de las PC.

Cuadro 2. Propiedades funcionales de películas y recubrimientos comestibles en alimentos

Retardan la migración de humedad
Retardar el transporte de gases (O ₂ y CO ₂)
Retardar la migración de gases y aceites
Retardar el transporte de solutos
Mejoran las propiedades mecánicas de los alimentos
Imparten integridad adicional a la estructura de los alimentos
Retienen compuestos volátiles de aroma
Contienen aditivos alimenticios

Fuente: Adaptado de R. Avila-Sosa. *et al.*, 2008

2.4.1 Barrera a la transferencia de materia y a la luz

Existen envases con capacidad de actuar como barrera frente a la transferencia de determinados componentes en el alimento o en el ambiente. Estas características son de gran interés cuando la calidad de un producto se ve reflejada en la pérdida o ganancia de algunos componentes por ejemplo el agua, componentes volátiles (aromas deseables o indeseables) o solutos (aceites, azúcares o sales). La deshidratación o pérdida de agua representa uno de los principales problemas responsables de la pérdida de calidad en fruta fresca, ya que ésta es la responsable de ciertos cambios como es la pérdida de turgencia y firmeza. Pero en algunos casos surge todo lo contrario y la absorción de agua realiza cambios indeseables en algunos alimentos o en diferentes partes de un producto constituido por varios alimentos (ej. Pizza, tartas de manzana, caramelos). Las propiedades de barrera de los envases comestibles son muy útiles en frituras, debido a que algunos recubrimientos tienen la capacidad de impedir la absorción excesiva de aceites durante su cocido. Algunas películas y recubrimientos se han aplicado con el fin de controlar la transferencia de determinados gases (oxígeno, dióxido de carbono, etc.), de tal manera que se genere dentro del envase una atmósfera idónea que retrase el deterioro. Esta atmosfera varía según el tipo de alimento; en frutas y verduras se utilizan PC y RC semipermeables, debido a que tienen cierta permeabilidad al

oxígeno, y las envolturas extremadamente impermeables pueden dar paso a la creación de un ambiente anaeróbico que provoca cambios indeseables en este tipo de productos, por ejemplo la pérdida de aroma. En cambio las películas impermeables al oxígeno son aplicadas sobre todo en productos ricos en grasas (pescado azul, frutas secas, etc.) ya que la calidad de estos productos tiende a disminuir principalmente por la oxidación de sus lípidos. La oxidación de las grasas genera compuestos con sabores desagradables u olores indeseables. Cabe de destacar que, la luz en particular la radiación ultravioleta (UV), es un potente activador de la oxidación, por lo que los envases comestibles opacos a la luz UV contribuyen una manera más de frenar la oxidación (López de Lacey, 2013).

2.4.2 Mejora de las propiedades sensoriales del alimento

Los envases comestibles se aplican en los alimentos para mejorar las propiedades sensoriales de un alimento: apariencia, color, brillo, transparencia, rugosidad, textura, etc. La empresa Viscofan, líder mundial en la producción y distribución de envolturas comestibles en productos cárnicos, comercializa cierto tipo de lámina comestible a base de colágeno llamada Naturin ®. Estas películas se aplican como envase comestible invisible en jamón cocido y carne asada con el objetivo de mejorar la apariencia, sabor, retención del jugo de la carne, y absorción del color ahumado (López de Lacey, 2013).

2.5 Antecedentes del uso de recubrimientos

El uso de películas comestibles aplicadas a los alimentos sobre la superficie no es un tratamiento innovador este ya se ha realizado desde años atrás, con el propósito de conservarlos por más tiempo, mejorar la apariencia de los productos (Parzanese *et al.*, 2016).

- Desde los años 70, los polímeros petroquímicos, han sido el material más extensamente usado para embalar debido a su alto rendimiento y su bajo precio, Sin embargo, los serios problemas ambientales asociados al uso de materiales no biodegradables han aumentado el interés por buscar materiales altamente biodegradables (Miramont, 2012).
- En los años XII y XIII en china se practicó el método de inmersión en cera de naranja y limones para retardar el proceso de deshidratación.
- El primer tipo de película desarrollado comercialmente fue la Yuba formada a partir de la leche de soya durante el siglo XV en Japón con fines de conservación (Ávila, 2008).
- En el siglo XVI, Inglaterra utilizó manteca como un método para prevenir la pérdida de humedad de los alimentos.
- En el siglo XIX, las películas de gelatina fueron usadas para cubrir carnes y la sacarosa fue escogida como un recubrimiento comestible protector, sobre almendras y avellanas, para prevenir la oxidación y la rancidez (Miramont, 2012).
- Desde 1930 en estados unidos se empezó a utilizar comercialmente la cera para naranjas y manzanas (Ávila, 2008).

2.6 Componentes de los recubrimientos comestibles y aplicaciones

Los recubrimientos más comunes son aquellos que se aplican a las frutas para sustituir la cera natural que se ha eliminado durante el lavado y cepillado de las mismas. Este tipo de recubrimientos están compuestos, generalmente por mezclas de diferentes resinas o ceras, naturales o sintéticas, y se aplican a frutas enteras

(cítricos y manzanas etc.) para prolongar la vida útil durante su almacenamiento. En cuanto los recubrimientos su aplicación se extiende cada vez más ya que esta tecnología permite diseñar y formular productos que se adaptan según la forma de aplicación (directamente en campo, durante la confección en almacén o en el envasado) y el tipo de producto al que vayan destinados (enteros, troceados, mínimamente procesados). Es así que los RC dependerán del tipo de compuesto que se emplee en su formulación, se pueden agrupar en tres categorías. En el cuadro 3 se mencionan tres grupos utilizados en la elaboración de PC (Sánchez-González *et al.*, 2008).

Cuadro 3. Principales materias primas utilizadas en películas comestibles

Caseína	Gluten de trigo	Celulosa
Colágeno	Proteínas del suero de la leche	Quitosano
Zaina de maíz	Pretinas de soya	Almidón
Colágeno	Alginatos	

Fuente: Adaptado de R. Avila-Sosa. *et al.*, 2008

2.6.1 Hidrocoloides

Los hidrocoloides son hidrofílicos (contienen grupos oxhidrilos-OH) de origen vegetal, animal o microbiano. Tiene la capacidad de producir una cantidad mayor de viscosidad y en algunos casos tiene efectos gelificantes ya que se disuelven y dispersan en agua. La industria alimentaria emplea este como aditivo para espesar, gelificar o estabilizar. En los últimos años se han empleado los hidrocoloides en la formulación de películas biodegradables porque presentan excelentes propiedades mecánicas así como de barrera ante la presencia de O₂, CO₂ y lípidos. Una de las desventajas de los hidrocoloides es que permite el transporte de humedad. Se denomina hidrocoloide a las sustancias que son solubles o dispersables en agua, adquiere este término ya que son sustancias generalmente compuestas por polisacáridos, aunque también algunas proteínas reciben esta clasificación (Parzanese, 2016).

2.6.2 Lípidos

Los lípidos brindan una buena barrera protectora contra la humedad debido a su naturaleza hidrofóbica, minimiza la pérdida de agua de las frutas recubiertas, mejorando el brillo de los frutos, los protege de la oxidación enzimática y del crecimiento microbiano. Debido a su naturaleza polimérica estos no pueden actuar como un recubrimiento cohesivo. Al mezclar lípidos solubles de hidrocoloides para la obtención de recubrimientos, se logra mejorar las características de barrera contra el agua (Vázquez y Guerrero, 2013).

2.6.3 Compuestos

Se trata de formulaciones mixtas de hidrocoloides y lípidos que aprovechan las ventajas de cada grupo y disminuyen los inconvenientes. En general, los lípidos aportan resistencia al vapor de agua y los hidrocoloides, permeabilidad selectiva al O₂ y CO₂, la duración del film y la buena cohesión estructural o integridad del film. (Sánchez-González *et al.*, 2008).

2.6.4 Polisacáridos

Los polisacáridos derivados de celulosa (metilcelulosa MC, hidroximetil celulosa HMC, hidroxipropil metilcelulosa HPMC y carboximetilcelulosa CMC), pectinas, derivados de almidón, alginatos, carragenina, quitosano y gomas son capaces de construir una matriz estructural, permitiendo obtener recubrimientos comestibles transparentes y homogéneos, sin embargo, están limitados por su solubilidad en agua y pobre barrera a la humedad y propiedades mecánicas moderadas. Por presentar estas propiedades que son una desventaja para la formulación de recubrimientos es necesario realizar mezclas con diferentes biopolímeros, esto para mejorar estas mismas, se adicionan materiales hidrofóbicos como aceites, ceras o se modifica la estructura del polímero mediante métodos químicos. Uno de los polisacáridos capaces de formar fácilmente recubrimientos resistentes, flexibles totalmente transparentes y resistentes a grasas y aceites es la celulosa. A partir de almidones ricos en amilasa se forman recubrimientos con adecuadas propiedades

mecánicas, pero debido al proceso de retrogradación puede afectar esta propiedad (Vázquez y Guerrero, 2013).

2.7 Aditivos naturales en los RC y PC

Los RC y las PC están siendo utilizados como vehículo para incorporar a los alimentos determinados aditivos de forma más eficaz. En los RC y las PC se pueden incorporar aditivos con distintas funciones como sustancias para mantener la textura, antimicrobianos, antioxidantes, nutrientes e ingredientes bioactivos capaces de incrementar el valor nutricional y funcional del alimento vegetal. Los aditivos naturales con propiedades antimicrobianas estudiados en los últimos años son: enzimas como las lactoperoxidasas (leche) y lisozimas (clara de huevo); bacteriocinas como la nisina (bacterias lácticas); polisacáridos como el quitosano (esqueleto de los crustáceos); ácidos orgánicos (ascórbico, cítrico, oxálico) y compuestos fenólicos (plantas y especias). Dentro de este último grupo se han utilizado aceites esenciales de plantas aromáticas (romero, tomillo, orégano, hierba limón, etc.) y especias (vainilla, canela, etc.) y también sus principios activos como carnosol, timol, carvacrol, citral, vainillina, cinamaldehído, etc.

En la actualidad se investigan extractos fenólicos de otros vegetales como té verde, ajo, cebolla y aceituna. Como aditivo antipardecimiento se han empleado el ácido ascórbico o derivados de nitrógeno como la cisteína y N-acetilcisteína. Las sales de calcio son utilizadas como aditivos para mejorar la textura. Existe un gran interés por incorporar a los RC y PC ingredientes funcionales como las vitaminas (E o C), minerales, ácidos grasos, probióticos (bifidobacterias), con la finalidad de incrementar las propiedades benéficas para la salud. Sin embargo, la capacidad de polimerización y las propiedades mecánicas de los RC y PC pueden verse alteradas negativamente con la incorporación de los aditivos o ingredientes funcionales, por lo que cada combinación de películas y aditivos ha de ser estudiado por separado (De Ancos Begoña *et al.*, 2015).

2.8 Situación legal de los RC y las PC

El Reglamento Europeo (UE) número 1130/2011 y el de Estados Unidos (FDA, 2014) los RC y las PC deben cumplir los requerimientos exigidos a los alimentos, ingredientes y aditivos alimenticios, a los materiales en contacto con los alimentos y a los materiales de envasado. Todos los materiales, elementos formadores de las películas o ingredientes funcionales, deben ser aptos para el consumo humano (De Ancos Begoña *et al.*, 2015).

2.8.1 Legislación relacionada con las películas y recubrimientos comestibles

Las PC y los RC se consideran como alimentos, ingredientes alimentarios, aditivos alimentarios, o sustancias que están en contacto con el alimento o envases alimentarios. Por estas razones, es que estos productos deben estar regulados de acuerdo a las funciones que estos desempeñan (López de Lacey, 2013).

Alimento o ingrediente alimentario: Debe contener sustancias seguras, aptas para uso alimentario y no tóxico. Las fábricas alimentarias deben de cumplir con las buenas prácticas de fabricación (PBF), y todas las instalaciones de proceso deben ser aprobadas para la elaboración de alimentos. Los diferentes componentes utilizados en la elaboración de envases comestibles deben ser sustancias seguras, y ser utilizadas dentro de las limitaciones marcadas por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (en inglés European Food Safety Authority, EFSA).

Vehículo de aditivo alimentarios: Deben seguir la normatividad con respecto al uso de aditivos alimentarios. En Europa sólo son permitidos los aditivos aprobados por la Comunidad Europea y publicados en la "Lista Positiva", son nombrados con números de identificación de carácter internacional que deben figurar en los envases y que comienzan con la letra E (Europa). Si la

autorización es sólo para un país irá precedida de la inicial del país correspondiente (Morros, 2009). La autorización de los alimentos está regulado por el Reglamento (CE) N° 1333/2008 del parlamento Europeo y del consejo sobre aditivos alimentarios.

Envases activos: En caso de contener aditivos antimicrobianos/ antioxidantes, por ejemplo, debe ajustarse a las normas marcadas en este tipo de productos. Están diseñados para incorporar intencionadamente componentes que liberarán sustancias en el alimento envasado o en su entorno o absorberá sustancias del alimento o su entorno. Sin embargo, este tipo de envase puede contener cierto tipo de ingredientes que provoquen trastornos a la salud. Tales como alergias en ciertas personas, como en el caso de las coberturas preparadas a partir de proteína de trigo (gluten), leche (suero, caseína), soja y proteína de cacahuete. En estos casos, la presencia de este tipo de alérgenos en las PC y RC se debe indicar de forma clara en la etiqueta.

2.9 Tendencias actuales en RC y PC

Las investigaciones realizadas actualmente se centran en la formulación de las matrices poliméricas e incorporación de nutrientes o ingredientes bioactivos mediante el uso de nanotecnologías como la microencapsulación mediante el sistema de multicapas. La microencapsulación de compuestos bioactivos (enzimas, probióticos, prebióticos, ácidos grasos omega-3) la protege frente a situaciones extremas (calor, humedad) que compromete su estabilidad y facilita su liberación controlada. El sistema multicapas consiste en la inmersión del producto en dos o más soluciones formadoras de películas que contiene especies cargadas de signos opuestos (De Ancos Begoña *et al.*, 2015).

2.10 Tecnologías para la aplicación de RC y PC

Actualmente se desarrollaron varios métodos para la correcta aplicación de las matrices comestibles sobre los alimentos. Como se mencionó antes los RC se diferencian de las PC por el modo en que son aplicados. Las técnicas de inmersión y/o rociado (en inglés Spray) se utilizan para RC y el Casting para PC.

INMERSIÓN: Consiste en aplicar de las matrices comestibles sumergiendo el alimento en la solución filmogénica. Se emplea principalmente en productos que por su forma irregular requieren de una cubierta gruesa y uniforme. Es necesario que los productos a tratar sean lavados y secados, y que una vez retirado de la solución se deje drenar el excedente solución para lograr un recubrimiento uniforme.

ROCIADO: Esta técnica consiste en aplicar la solución filmogénica presurizada. Se obtienen RC más finos y uniformes. Son utilizados en alimentos con superficie lisa o para la separación de componentes de distinta humedad de un alimento compuesto (Parzanese, 2016).

CASTING: Como resultado de la aplicación de esta técnica se obtienen películas premoldeados. Se basa en la obtención de una dispersión uniforme compuesta por biopolímeros (proteínas, polisacáridos, lípidos) plastificante y agua. Enseguida se vierte sobre una placa de material inoxidable donde se deja secar y así obtener un film o PC. La rapidez con la que se sequen las PC y RC juntos con la temperatura y humedad serán condiciones que determinaran la calidad de estos (transparencia, consistencia, propiedades mecánicas), por lo tanto deben ser controladas correctamente. Una vez finalizado el secado se obtienen PC de gran tamaño, el cual es fraccionado para ser aplicado sobre los alimentos a tratar (Parzanese, 2016).

Otros métodos de aplicación son de manera mecánica o manual con brocha (Vázquez y Guerrero, 2013).

2.11 Propiedades mecánicas y de barrera de las películas comestibles

Las propiedades mecánicas permiten saber la durabilidad de la película comestible y en consecuencia la integridad del alimento. La fuerza de tensión y porcentaje de elongación son dos de las mediciones más comunes empleadas para evaluar las propiedades mecánicas de películas comestibles. La fuerza de tensión hace referencia al máximo estrés desarrollado en una película al aplicarse a una prueba de tensión, mientras el valor de elongación representa la habilidad de estirarse. La magnitud de estas dos propiedades está estrechamente asociada con la cantidad de plastificante presente en la película. Un incremento en la cantidad de plastificante da como resultado películas con menor fuerza de tensión y una mayor elongación (Montalvo *et al*, 2012).

La fuerza tensil, la elongación y la fuerza de corte son propiedades mecánicas de las películas comestibles que pueden ser usadas para describir el comportamiento del material. La dureza es la fuerza máxima por área que una película puede soportar antes de romperse; se obtiene dividiendo la fuerza máxima entre el área transversal de la película. La elongación es el porcentaje de cambio máximo en longitud de la película antes de romperse, lo que significa que cuando es menor el porcentaje de elongación lógicamente es menor la flexibilidad. La fuerza de corte se define como la fuerza requerida para cortar la película. Anteriormente algunos estudios revelan que al aumentar el vapor de la fuerza tensil, el porcentaje de elongación disminuye y viceversa (Domínguez y Jiménez, 2012).

Otra propiedad que se debe de considerar de gran importancia para las películas es su función como barrera protectora contra la humedad, ya que lo que se pretende es que las películas ayude a disminuir la transferencia de humedad entre el producto y el medio. Esta propiedad es medida con el vapor de permeabilidad al vapor de agua. Se requiere que la permeabilidad al vapor de agua sea lo más bajo posible.

De igual manera, es de vital importancia que las películas funcionen como barrera protectora contra los gases, principalmente oxígeno y dióxido de carbono. Debido a las reacciones de oxidación provocadas por el oxígeno en varias aplicaciones de películas comestibles se busca que las películas tengan baja permeabilidad a este gas (Domínguez y Jiménez, 2012).

La aplicación de las películas comestibles se debe en gran medida a las propiedades de barrera a gases o vapores que presentan, ya que éstas pueden influir en diferentes procesos que pueden ocurrir en los alimentos (oxidación, cambios de textura por periodos o ganancias de humedad, pérdida de aromas entre otros), influyendo así en la calidad de la misma (Montalvo *et al*, 2012).

En las películas comestibles, durante el transporte de gas o vapor puede haber dos mecanismos: difusión capilar y difusión activa. El primero ocurre en materiales que son porosos o que presentan imperfecciones, y en la difusión activa incluye la solubilización del gas en la película, difusión hacia el otro extremo de la película (Montalvo *et al*, 2012).

2.12 Permeabilidad

La permeabilidad al vapor de agua se define como la velocidad de transmisión de vapor de agua por unidad de área del material y por unidad de diferencia de presión entre dos superficies específicas bajo determinadas condiciones de temperatura y humedad (Escobar *et al.*, 2009).

La permeabilidad al vapor de agua es una medida de la capacidad de un material para permitir el paso de agua. La permeabilidad de una película depende de su estructura química y arreglo tridimensional, naturaleza del permeante, temperatura ambiente y humedad relativa. La transferencia al vapor de agua generalmente se lleva a cabo a través de la parte hidrofílica de la película y depende de la relación hidrofílica-hidrofóbica de sus componentes. Una función importante de las películas comestibles es reducir el traspaso de agua entre el producto cubierto y el ambiente, por tal razón la pérdida de agua debe ser reducida (López-Díaz *et al.*, 2015).

El estudio de las propiedades de permeabilidad es fundamental para preveer las atmósferas que se pueden obtener cuando el plástico es utilizado para almacenar productos naturales vivos que presentan tasas de respiración. Las propiedades de transmisión de un plástico al CO₂ y O₂, junto a la permeabilidad al vapor de agua y a volátiles son propiedades importantes para estimar los posibles efectos de un determinado plástico sobre el producto conservado (Martinez *et al.*, 2005).

Estas propiedades permiten elaborar diseños de envases que deben de ser usados moderadamente debido a las variaciones de permeabilidad dentro de un mismo tipo de plástico. Existe una infinidad de envases disponibles en el mercado, sin embargo, son pocos los que se han utilizado en la conservación de productos hortícolas ya que presentan características favorables para crear atmósferas modificadas.

La determinación de la permeabilidad parece un problema bastante sencillo, pero en realidad es más complejo de lo que parece y por lo cual, es normal obtener resultados desvirtuados por errores sistemáticos no detectados. La gran variedad de equipos sugeridos para esta medida confirma el disgusto existente.

Hasta la fecha no existe una técnica universal establecida para determinar la permeabilidad, aun teniendo los valores de permeabilidad no siempre está clara su aplicación a las características específicas que se dan en las condiciones del envasado (Martínez y Artés, 2005).

Este problema se presenta porque la permeabilidad se puede alterar por la presencia de pequeñas regiones mal soldadas, pinturas o condensaciones de vapor de agua. Es así que siempre existe el inmenso problema de variación de la permeabilidad.

La evaluación de las propiedades de barrera para un envase es un requerimiento para una adecuada selección del material a utilizar (polímero) así como del diseño del envase para un determinado producto alimenticio.

2.12.1 Permeabilidad al oxígeno

El oxígeno es un agente que puede causar oxidación, provocando cambios en los alimentos tales como olor, color, sabor y deterioro de nutrientes. La obtención de películas comestibles con buenas propiedades de barrera al oxígeno puede ayudar a mejorar la calidad de los alimentos y extender su vida útil (López-Díaz *et al.*, 2015).

2.12.2 Efecto del espesor

En los recubrimientos comestibles poliméricos ideales para la permeabilidad a gases o vapor de agua es independiente del espesor del mismo. Casi todos los recubrimientos comestibles son de naturaleza hidrofílica y se ha visto una relación de pendiente positiva entre la permeabilidad al vapor de agua y el espesor de las películas. A medida que el espesor del recubrimiento aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, es decir la presión parcial de vapor de agua de equilibrio en la superficie inferior de la película se incrementa. Se ha demostrado que el efecto del espesor a cambios en la estructura de los recubrimientos es ocasionado por el hinchamiento que provoca el agua en el polímero (Bertuzzi *et al.*, 2002).

2.12.3 Efectos del contenido de plastificante

Los plastificantes el agregado de aditivos y plastificantes a materiales plásticos generalmente aumentan la permeabilidad de los mismos. Los plastificantes disminuyen las fuerzas intermoleculares entre las cadenas de polímeros e incrementando el volumen libre, cabe destacar que los plastificantes hidrofílicos como el glicerol son compatibles con el material polimérico que forma la película y aumenta la capacidad de sorción de moléculas polares tales como el agua (Bertuzzi *et al.*, 2002).

2.13 Generalidades de la cera de candelilla

La cera de candelilla es reconocida por la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés), como una sustancia natural segura GRAS, (Generally Recognized As Safe) que puede ser empleada en la industria alimenticia, siendo así utilizada en diversos sectores del ramo FDA. Gran parte de los constituyentes de la cera de *Euphorbia Antisyphilica* son componentes naturales que se encuentran en las hortalizas y en las frutas. Existen antecedentes de uso de cera de candelilla como agente para recubrir y mejorar la apariencia de diversos frutos, pero no se han encontrado estudios que demuestren el empleo de dicha cera en la formulación de cubiertas comestibles activas (Saucedo-Pompa *et al.*, 2009).

La cera de candelilla químicamente son ésteres de los ácidos grasos con alcoholes de peso molecular elevado, moléculas que se obtienen por una reacción química entre un ácido y un alcohol. Físicamente son partículas altamente insolubles en medios acuosos, pero a temperatura ambiente se presentan en estado sólido y con dureza intermedia (Alvarado *et al.*, 2013).

Este material se encuentra también en la piel y plumas de los animales, lo cual las hace tener un carácter hidrofóbico. En los vegetales las ceras recubren la superficie de los frutos o tallos, evitando así la pérdida de agua. En el cuadro 5 se muestran las propiedades más utilizadas para caracterizar las ceras naturales.

Cuadro 4. Propiedades de la cera de candelilla

Punto de fusión (°C)	67-79
Valor de acidez (mg KOH/g)	12-22
Índice de Iodo (mg I ₂ /g)	14-27
Valor de saponificación (mg KOH/g)	35-87

Fuente: Adaptado de Cabello Alvarado *et al.*, 2013

En su forma cruda la cera de candelilla es de color café y cambia a un color amarillo, ya refinada su estructura es indefinida y su dureza es de un grado intermedio comparada con la cera de carnauba y la de abeja. Tiene un sinfín de usos en confitería y alimentos, se utiliza en la formulación de recubrimientos comestibles.

La proporción de sus componentes determina la dureza, impermeabilidad al agua, brillo entre otras características pertenecientes a ella como su temperatura de fusión. Una de las ventajas que tiene la cera de candelilla es que se puede utilizar como recubrimiento comestible en frutas y hortalizas por su alta permeabilidad al O₂ y CO₂ permitiendo que los productos cubiertos adquieran adecuados niveles internos de O₂ y CO₂, lo que disminuye la probabilidad del desarrollo de sabores extraños consecuencia del crecimiento de microorganismos (Alvarado *et al.*, 2013).

La cera de candelilla es una planta silvestre que se encuentra en estado sólido a 20°C, al llegar a 80°C alcanza el máximo punto de viscosidad. Esta planta se deriva de las hojas del pequeño arbusto llamado planta de candelilla que se encuentra en el norte de México y sureste de Estados Unidos, su manera de obtener es hirviendo las hojas (figura 5) y los tallos de esta planta con ácido sulfúrico diluido, después se retira el material que flota en la superficie y se pone a enfriar (Alvarado *et al.*, 2013).



Figura 5. Extracción de la cera de candelilla.

Actualmente la Comisión Técnica de Aditivos Alimentarios y Fuentes de Nutrientes añadidos a los Alimentos (ANS) aprobó un dictamen científico relacionada con la seguridad de la cera de candelilla, la cual está autorizada en la Unión Europea como aditivo alimentario, para poder utilizarse como agente de recubrimiento. La cera de candelilla ha sido evaluada por el Comité Científico de la Alimentación Humana (SCF), por el Comité Mixto FAO/OMS, Comité de Expertos en Aditivos Alimentario (JECFA). El JECFA y el SCF establecieron una ingesta Diaria Admisible (IDA), estas organizaciones consideran el uso de cera de la candelilla como agente de recubrimiento aceptable (Alvarado *et al.*, 2013).

La *Euphorbia Antisyphilitica* está compuesta por una mezcla compleja de hidrocarburos de cera, ésteres de resina, lactonas, alcoholes de resina libre de cera y cera libres etc. Se ha visto que la ingesta diaria de cera de candelilla no presenta efectos de toxicidad y que después de la absorción de los componentes los cuales se unen en las vías metabólicas normales no presentan ningún riesgo para el ser humano (Alvarado, 2013).

Tras una serie de estudios realizados se ha llegado a la conclusión que la candelilla no es genotóxica. En cambio otros reportes mencionan que no ha surgido ningún cambio asociado con el consumo de los principales componentes que constituyen la cera de candelilla. La figura 6 muestra cómo se extrae con todo y raíz, es necesario esperar entre dos y cinco años para que la planta se recupere y crezcan nuevos tallos.



Figura 6. a) Planta de candelilla y b) candelilla refinada.

La recolección de la cera de candelilla en el campo, se lleva a cabo de forma manual por arranque de la planta, enseguida se sacude la raíz con el fin de eliminar tierra, basura seca e impurezas, se forman bultos de aproximadamente de 30 kg y se transportan en bestias o camiones hacia el lugar de procesamiento. Los procesos tradicionales de extracción de la cera incluye el ácido sulfúrico como agente extractor altamente corrosivo y peligroso para el personal y el medio ambiente. La adición de ácido sulfúrico en las paredes de las pailas también tiene un efecto corrosivo haciendo que el producto final tenga una coloración rojiza por el hierro. CENAMEX cambia constantemente las pailas de hierro debido al desgaste por la utilización de ácido. Como dato adicional es necesario el trabajo de una persona durante un año para generar una tonelada de cera.

2.13.1 Aplicaciones

Aunque la cera de candelilla tiene un gran número de aplicaciones industriales, algunos de sus componentes hacen que las propiedades eléctricas y térmicas tengan bajas magnitudes.

Se ha demostrado que se puede gelificar la cera de candelilla y algunas olefinas, generando un aumento en las propiedades eléctricas. La cera de candelilla posee una constante dieléctrica de valor bajo, la comprobación de que se trata de un material de máxima resistencia. Los organogeles son métodos coloidales bi-continuos que coexisten en forma de un sólido micro heterogéneo (gelificantes) y formas líquidas orgánicas, completamente es un método alternativo que puede cambiar las propiedades físicas de los aceites y vegetales, sin el uso de productos químicos. Incluso estos organogeles han mostrado buenas propiedades termomecánicas usando cera de candelilla (Alvarado *et al.*, 2013).

Los compuestos que pueden servir para cambiar físicamente los aceites son comúnmente conocidos como compuestos orgánicos de bajo peso molecular de masa gelificante, como son los ácidos grasos y los *n*-alcanos, la cera de candelilla, tiene como componente principal hidrocarburos, provocando la posibilidad del crecimiento de geles orgánicos comestibles a través de dispersiones de la cera de candelilla en aceites vegetales. La parafina y la cera de candelilla son algunas de las ceras preparadas y utilizadas en tales aplicaciones, de igual manera estas son empleadas como agentes de microencapsulado fundamentalmente para sustancias con color y sabores a condimento, se emplean para recubrir frutas tales como limas, manzana guayaba etc.

Se utilizan en algunos alimentos como lo son:

- Goma de mascar.
- Café, sustitutos del café, té, infusiones de hierba, cereales calientes y bebidas que contengan gran cantidad de cacao.
- Dulces incluyendo los caramelos duros y blandos, los turrónes.
- Decoración (decoración de pasteles y galletas).
- Productos de panadería fina (dulces, salados, aromatizados).
- Productos de imitación de chocolate o sustitutos de chocolate.
- En bebidas azucaradas artificialmente.

- En la superficie de frutas frescas.
- En la superficie de vegetales, legumbres y leguminosas, algas marinas y semillas.
- En bebidas aromatizadas a base de agua, como suero y bebidas electrolíticas.

Los principales países consumidores de cera de candelilla son los EE.UU, Japón, Alemania, Francia, y el Reino Unido. Estos cinco países han demandado más del 96% del total de la cera de candelilla de las exportaciones de México (SEMARNAT). El mercado internacional de candelilla actualmente es principalmente la Unión Europea, EE.UU y Japón.

Según información recopilada en el año 1930 nos hace saber que las ceras fueron las primeras cubiertas comestibles aplicadas en frutas, donde se disponía comercialmente ceras de parafina, utilizando altas temperaturas para su elaboración como recubrimiento de manzanas y peras. Actual se reporta que es posible obtener efectos semejantes de barrera al vapor de agua y gases en productos tropicales empleando diferentes combinaciones de aceites, ceras y celulosa.

Las películas comestibles pueden otorgar propiedades nutricionales y organolépticas a los alimentos si se agrega como antioxidante, colorante o sabores artificiales. Se han empleado algunas ceras como recubrimiento para frutos como la guanábana morada de las plantas de una zona comercial, situada en Brasil de igual manera en México, específicamente en Coahuila se llevan a cabo estudios con cubiertas a base de cera de candelilla (Alvarado *et al.*, 2013).

En la actualidad las películas elaboradas con ceras de candelilla son perfeccionadas con un potente antioxidante como el ácido gálico, ácido elágico y *Aloe Vera*, esta prolonga la calidad de vida útil e incrementa el potencial antioxidante, así como la calidad nutricional de las frutas y verduras. La aplicación de películas causa mucho interés porque los componentes con los que se elabora son de origen natural y se

encuentran en abundancia, no son tóxicos se sugiere por su precio bajo, disponibilidad y fácil manejo. Además se pueden aplicar a una gran variedad de alimentos no solo a productos de origen vegetal. La cera de candelilla también se usa para mejorar la dureza de algunas ceras más suaves, así como un complemento para la cera de abeja y la carnauba (Alvarado., 2013).

En la actualidad la cera de candelilla también se utiliza para la fabricación de crayones, pinturas, velas, lubricantes, adhesivos, papel, impermeabilizantes, anticorrosivos y fuegos artificiales.

La cera de candelilla es utilizada como recubrimiento comestible porque alarga la vida útil de los alimentos, debido a que contienen taninos, los cuales son metabolitos secundarios presentes en estas plantas. Algunos de los componentes que conforman esta sustancia son los ácidos elágico y gálico. De igual manera se emplea en la elaboración de productos medicinales tales como antitumorales, antioxidantes, antimicrobianos, antivirales y antiinflamatorios.

2.14 Los plastificantes y el glicerol

El plastificante es una sustancia normalmente líquida y de viscosidad mayor a la del agua que se adiciona a la mezcla con el fin de mejorar la flexibilidad de material mediante la reducción de las fuerzas intermoleculares. El efecto plastificante puede ser dado por sustancias como: agua, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, aminas, ésteres, amidas y mezclas entre otros, pero se prefiere utilizar plastificantes cuya presión de vapor sea baja para evitar que éste se volatilice al finalizar el proceso de extrusión o de calentamiento. La adición de plastificantes disminuye la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea. Combinando su comportamiento reológico debido a que logra movilizar moléculas dando plasticidad al material. Cuando más se incrementa una sustancia plastificante en una matriz polimérica, la elongación y la deformación se incrementa. Los plastificantes de uso más común son los polioles, especialmente el glicerol o glicerina (Enríquez *et al.*, 2012).

Para la formulación de películas comestibles mayormente es necesario agregar un plastificante, esto para mejorar las propiedades mecánicas de estas. Los plastificantes más utilizados son: glicerol, polietilenglicol, sorbitol y algunos azúcares etc. Esto se debe a que el plastificante reduce los enlaces intermoleculares entre las cadenas de polímeros, los plastificantes modifican las propiedades mecánicas y producen películas más flexibles (Domínguez y Jiménez, 2012).

Los plastificantes son moléculas pequeñas de bajo peso molecular y baja volatilidad, con una naturaleza química parecida a la del polímero formador de recubrimiento. Se utiliza para mejorar la flexibilidad y la funcionalidad de los recubrimientos (Miramont, 2012).

En la mayoría de los casos es necesario un plastificantes como el glicerol en las formulaciones a base de polisacáridos y de proteínas, para aumentar la flexibilidad de los recubrimientos al aumentar el volumen libre o la movilidad molecular de los polímeros ya que reducen los enlaces hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros. Los plastificantes dañan la capacidad de atracción de agua del sistema y casi siempre suelen aumentar la permeabilidad al oxígeno de los recubrimientos comestibles.

Dentro de los agentes plastificantes que se emplean con más frecuencia son: glicerol, polietilenglicol, sorbitol, aceites, ácidos grasos, ceras entre otros, pero el glicerol es uno de los más utilizados.

El glicerol es un compuesto químico, conocido también con el nombre de glicerina. Es un líquido viscoso, sin olor ni color y se utiliza ampliamente en la industria farmacéutica. El glicerol tiene tres grupos hidroxilos que son responsables de su solubilidad en agua y su naturaleza higroscópica (figura 7). Es el componente central de algunos lípidos. El glicerol es ligeramente dulce y de baja toxicidad.

Por efecto de la presencia de grupos $-OH$ en su estructura, el glicerol es capaz de enlazarse a través de puentes de hidrógeno con las cadenas de almidón impidiendo el completo ordenamiento de las mismas debido a que se interpone entre ésteres. Por consecuencias del calentamiento global ha surgido el interés del remplazo de interacciones polímero-polímero por interacciones plastificante-polímero es la reducción de la rigidez de las películas. El tamaño molecular, la configuración y el número total de grupos hidroxilo funcionales del plastificante, asimismo su compatibilidad con el polímero, afecta el tipo y cantidad de interacciones entre el plastificante y las cadenas poliméricas.

El glicerol tiene la capacidad de reducir las interacciones entre biopolímeros, lo que incrementa el espacio intermolecular y por lo tanto la permeabilidad de las películas. Además, dicho plastificante, al ser una molécula hidrofílica favorece la adsorción-desorción de las moléculas de agua (Espinoza-Herrera y Sánchez-Flores, 2012).

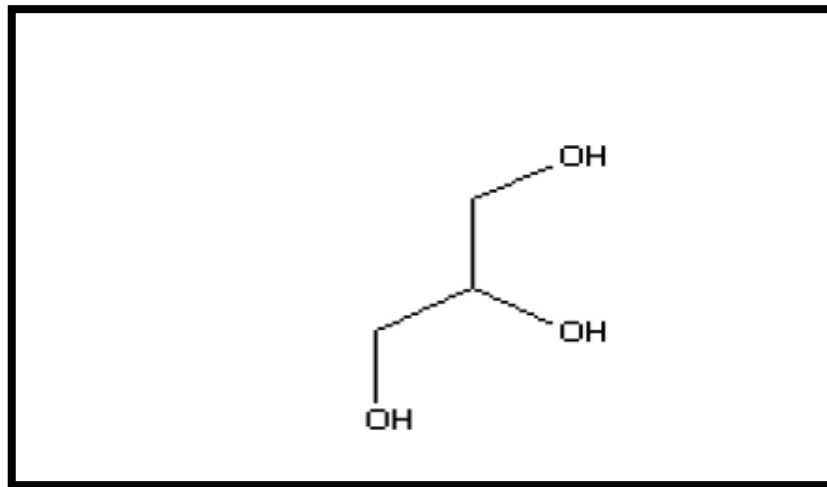


Figura 7. Estructura molecular del glicerol.

2.15 Carragenina

Las carrageninas son extractos de las algas marinas rojas, se encuentran en varias partes del mundo. Los extractos de estas algas son en su forma primaria, polisacáridos sulfatados con un contenido variable de esteres, dando como resultado la obtención de los tres tipos básicos de carrageninas (Kappa, iota, lambda) sus únicas e interesantes propiedades.

2.15.1 Estructura

La carragenina posee propiedades estructurales comunes: unidades repetidas de azúcar basadas en galactosa, glicosidicamente enlazados a lo largo de posiciones alternas 1,3 y 1,4. Este tipo de enlace da a las carrageninas gelificantes (kappa, iota), un efecto helicoidal el cual a su vez permite que dos moléculas de idéntica carragenina formen una doble hélice tipo "ADN".

Las unidades repetidas del disacárido básico, para los tres tipos de carragenina son los siguientes (cuadro 5).

Cuadro 5. Tipos de carragenina

Carragenina	Unidades repetidas
Kappa	D-galactosa-4-sulfato 3,6 anhidra-D-galactosa
Iota	D-galactosa-4-sulfato 3,6 anhidra-D-galactosa-2-sulfato
Lambda	D-galactosa-2-sulfato-D-galactosa-2,6-disulfato

Fuente: Adaptado de Castellanos García *et al.*, 2006

Los pesos moleculares se encuentran generalmente en el rango de 100.000 a 500.000 Daltones (D).

Las carrageninas Kappa y iota forman geles, mientras que la lambda es demasiado viscosa y se emplea comúnmente para aplicaciones como espesante y suspensor.

Respecto al tipo de aplicación, en términos generales se puede decir que para procesos donde requiere gelificación, es necesario utilizar las carrageninas kappa o iota. Pero si se requiere obtener viscosidad o suspensión es recomendable la carragenina lambda. Cuando se combinan 2 o 3 carrageninas se produce la textura deseada para un sistema alimenticio (Castellanos *et al.*, 2006).

Las carrageninas requieren un dispersante, un agente humectante o medios mecánicos para su adecuada adición dentro del sistema. Esta es el área más crítica de las carrageninas porque al agregarla en un recipiente puede llegar a producir manchas oscuras (ojos de pescado). Estos son bolsas de polvo, selladas para goma parcialmente hidratadas y son difíciles de dispersar, una vez que se forma se debe mantener en agitación constante durante el proceso para asegurar la mezcla apropiada de los ingredientes (Castellanos *et al.*, 2006).

Los altos niveles de azúcar (50% o más aproximadamente) retardan la completa solubilidad de la carragenina, dada por la solubilización/aglutinación del azúcar con el agua. Los altos niveles, por ejemplo, 2-3%, no retardan la dispersión, pero a veces, previene la solubilización a las temperaturas normales del proceso. Se sugiere que la carragenina sea adicionada al medio, con anterioridad a la adición de altos porcentajes de azúcar o sal, para tener una adecuada solubilización de los polisacáridos. En el manejo práctico la carragenina se utiliza en sistemas con azúcar reducida y en sistemas que no contengan más del 2% de sal.

El pH recomendado para el comportamiento adecuado de la carragenina está entre 4 y 10, siendo el nivel, para la mayoría de los sistemas alimenticios, por debajo de pH 7.

Las fallas en el comportamiento son aceleradas, a medida que se reduce el pH, existen varios métodos aplicables, para minimizar este efecto del pH. Con técnicas HTST (altas temperaturas, tiempos cortos), UHT (ultra alta temperatura) y sistema de llenado aséptico, se logra minimizar estas fallas.

Al dispersarse en agua, se hincha y requiere de un ligero calentamiento para que se disuelva: la solución que se forma presenta una viscosidad baja a temperaturas superiores a 60°C, pero al enfriarse se establece un gel, cuya calidad y rigidez depende de la concentración del polímero y de la cantidad de iones potasio, amonio o calcio que contengan (Castellanos *et al.*, 2006).

El mecanismo de gelificación, las moléculas de carragenina desarrollan estructuras helicoideales que en ocasiones reaccionan entre si formando una red tradicional. Cuando la temperatura es mayor a la del punto de fusión del gel se produce una agitación térmica que no deja que se formen las hélices que por la formación del polímero en solución es al azar. Cuando se enfría se induce una transición de sol a gel, que provoca que se forme una estructura tradicional en la cual las doble hélices son los puntos de unión de los polímeros (gel): cuando se continua enfriando se favorece la agregación de las moléculas, dando como resultado la formación del gel (gel II); la rigidez del gel dependerá de la rapidez con que estas transiciones ocurren (Castellanos *et al.*, 2006).

2.16 Tensoactivos, Emulsificantes, y/o surfactantes (Tween)

2.16.1 Descripción

Los tensoactivos, emulsificantes y/o surfactantes (tween), son derivados de polisorbatos, como ésteres del polioxietilen sorbitano (sorbitol y sus anhídridos copolimerizados con 4, 5, o 20 moles de óxido de etileno) parcialmente esterificados con ácidos grasos superiores.

Tween-80 (tensoactivo 80)

Se le conoce como Polisorbato 80 o Polixietilen 20 sorbitina monooleato. Es un líquido oleoso límpido, o ligeramente opalescente, incoloro o amarillo pardusco. Dispersable en agua, etanol anhidro, acetato de etileno, y metanol. Prácticamente insoluble en aceites grasos y en parafina líquida. Cuenta con una densidad: 1,06-1,09 g/ml. HLB: 15,0. La fórmula molecular es $C_{64}H_{124}O_{26}$. Su peso molecular es de: 1309,7 (Acofarma, 2016).

2.16.2 Propiedades y usos

Los polisorbatos con 20 unidades de óxido etileno son *surfactantes* no-iónicos hidrofílicos. Son agentes *emulgentes* no iónicos, con amplio e intenso poder emulgente y suspensor, que generan *emulsiones* de fase externa acuosa (O/W), estables y de textura fina, poco afectable por altas concentraciones de electrolitos o por cambios de pH ligeros, obteniendo en la práctica mejores resultados con la asociación de dos o más emulgentes que con el empleo de solo uno.

Se emplean en farmacia para la elaboración de cremas, pomadas lavables, y bases de supositorios, así como para emulsificar aceites, esencias, y vitaminas liposolubles, y como humectante en suspensiones orales o parenterales. De igual manera son empleados para incrementar la absorción de la dieta grasa en casos de esteatorrea, provocada a trastornos celíacos y esprúe. Se utilizan como surfactantes en spray

insecticidas y pesticidas, así como emulgentes en cremas cosméticas e industria alimentaria. Se le puede agregar a la vaselina filante y pomadas para aumentar su capacidad de retención de agua y facilitar su lavado.

El tween-80 es tal vez el más utilizado en la formulación magistral. Pose acción protectora y emoliente. Es un agente humectante en la formulación de suspensiones orales y parentales, y un detergente y acondicionador de champús. Ayuda a elevar la capacidad de retener agua de los ungüentos. También reduce la irritación causada por detergentes excesivamente agresivos para la piel.

2.17 Aceites de tomillo (*Thymus Vulgaris L.*)

El aceite esencial de tomillo se extrae mediante un proceso de destilación de las partes aéreas de las plantas. El componente principal del aceite de tomillo es el timol. El timol es una sustancia muy potente y puede llegar a ser peligroso para la salud si no lo utilizamos correctamente (Solís, 2011).

2.17.1 Toxicidad del aceite de tomillo

La planta de tomillo es segura de consumir, más si se ingieren preparados naturales en base a esta planta y se consume en dosis adecuadas. Sin embargo si se consume en cantidades excesivas puede provocar toxicidad.

No se recomienda el consumo, mediante aplicación oral, de aceite de tomillo a las mujeres que se encuentran embarazadas o en etapa de lactancia. Debido a que no se tiene conocimiento detallado, de los efectos que podrían provocar en estas situaciones. Ya que se especula que podría provocar reacciones abortivas.

El consumo, en dosis elevadas, del aceite podría ocasionar algún tipo de intoxicación, la cual se caracteriza por fuertes dolores estomacales y de cabeza, mareos, diarreas y vómitos.

El tomillo puede provocar reacciones alérgicas en las personas que son hipersensibles a esta planta, por lo tanto no se recomienda su ingesta a aquellas personas que son alérgicas a las plantas de la familia de las labiadas.

2.17.2 Conservante natural

El creciente interés de los consumidores por la seguridad y la calidad de los alimentos que ingieren, las nuevas tendencias revelan una clara preferencia de la industria alimentaria hacia los conservantes naturales, como es el caso de antioxidantes procedentes de extractos de plantas. Así, el mercado de los antioxidantes sintéticos está en declive mientras que los antioxidantes naturales ganan importancia debido a la aceptación de los consumidores y a los requerimientos legales para acceder al mercado (Solís, 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

La parte experimental del presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio 1 del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en la localidad de Saltillo, Coahuila.

Material utilizado

- Cajas Petri desechables
- Celdas para espectrofotómetro
- Embudos de filtración
- Jeringas de 20 mL
- Guantes de plástico
- Agitadores magnéticos
- Matraz 1000 mL KIMAX
- Micropipeta 100-1000 μ L ACCUMAX
- Papel filtro mara Whatman No. 1
- Pipetas 10 mL KIMAX
- Termómetro
- Vasos de precipitado de 100 mL y 1000 mL
- Celdas para determinación de permeabilidad al vapor de agua
- Barras magnéticas de agitación
- Desecador SCIENCE WARE

Equipo utilizado

- Balanza analítica OHAUS ADVENTURER
- Espectrofotómetro GENESYS 10 UV
- Estufa de secado QUINCY LAB
- Micrómetro MITUTOYO
- Fotocolorímetro MINOLTA CR-400

Reactivos

- Cera de candelilla
- Carragenina
- Glicerol
- Aceite de tomillo
- Tween-80

3.1 Etapa experimental. Elaboración de una película comestible a base de candelilla, plastificantes y carragenina.

3.1.1 Formulaciones

Para obtener las formulaciones que se analizaron se prepararon las mezclas de carragenina, candelilla, glicerol, aceite de tomillo y tween tomando en cuenta los porcentajes del cuadro.

Cuadro 6. Nivel (%) de las formulaciones de las películas comestibles

Formulación	Carragenina (%)	Candelilla (%)	Glicerol (%)	Aceite de tomillo (%)	Tween-80 (%)
A	1.0	1.0	1.0	6.0	2.0
B	1.0	3.0	1.0	6.0	2.0
C	1.0	5.0	1.0	6.0	2.0
D	1.0	1.0	1.5	6.0	2.0
E	1.0	3.0	1.5	6.0	2.0
F	1.0	5.0	1.5	6.0	2.0
G	1.5	1.0	1.0	6.0	2.0
H	1.5	3.0	1.0	6.0	2.0
I	1.5	5.0	1.0	6.0	2.0
J	1.5	1.0	1.5	6.0	2.0
K	1.5	3.0	1.5	6.0	2.0
L	1.5	5.0	1.5	6.0	2.0

3.1.2 Formación de las películas

Para la elaboración de cada formulación se preparó un vaso de precipitados con agua y se colocó en una parrilla de calentamiento y agitación (40°C y 400 rpm). Primero se agregó la cantidad de glicerol, cera de candelilla, aceite de tomillo y tween-80 hasta la total disolución y finalmente la carragenina. Posteriormente de cada formulación se agregaron a una caja Petri para secarse en una estufa de calentamiento con aire forzado a una temperatura de 65-70 °C por un periodo de 3-4 horas aproximadamente. Cuando las películas ya se desprendían de la caja Petri se retiraban de la estufa y se colocaron en un desecador para su posterior caracterización.

3.2 Determinación de los parámetros fisicoquímicos

3.2.1 Color

La determinación de color se realizó siguiendo la metodología descrita por Cammal-Herrera (2011). El color de las películas fue medido con un colorímetro (Minolta CR-400, Tokio Japón). Para calibrar este fue necesario emplear una placa blanca (supplied by Minolta Co.). El sistema proporciona los valores de tres componentes de color; L* (componente negro-blanco, luminosidad) y coordenadas de cromaticidad, a* (componente +rojo a –verde) y b* (componente +amarillo a –azul) (figura 8).



Figura 8. Colorímetro.

3.2.2 Grosor

El grosor de las películas fue medido con un micrómetro Mitutoyo (figura 9), con una resolución de 0.001 mm. Las películas se midieron en puntos diferentes (Miranda *et al.*, 2003).



Figura 9. Determinación del grosor con un micrómetro Mitutoyo.

3.2.3 Determinación de opacidad

La opacidad fue determinada de acuerdo con el método de Salvutsky *et al* (2011). Las muestras fueron cortadas en rectángulos 1x4 cm y se colocaron en celdas de cuarzo del espectrofotómetro. Se registró la absorbancia utilizando una longitud de onda a 500 nm en todas las muestras (figura 10).

$$\text{Opacidad} = \text{Absorbancia a 500 nm} \times \text{grosor de la película}$$



Figura 10. A) Celdillas de cuarzo B) Espectrofotómetro.

3.2.4 Determinación de Transmitancia

Las muestras fueron cortadas en rectángulos 1×4 cm y se colocaron en celdas de cuarzo del espectrofotómetro. Se registró la transmitancia empleando como referencia una longitud de onda a 600nm (figura 11).

$$T_{600} = \frac{\text{Log\% T}}{b}$$



Figura 11. Medición de transmitancia con espectrofotómetro.

3.2.5 Contenido de humedad

Para la determinación de humedad fue necesario recortar cuadros de 2 cm × 2 cm de cada película (figura 12). Una vez recortados cada cuadro, fue colocado en una caja de aluminio previamente pesada (figura 13), estas fueron ubicadas en el horno del laboratorio a una temperatura de 65°C durante 24 horas (figura 14). Se registraron los pesos de las muestras antes y después del secado (figura 15). El contenido de humedad se determinó tomando en cuenta el peso inicial de la película antes de la deshidratación y después de la deshidratación. La determinación se realizó por duplicado (Ecuación 1).

Ecuación 1:

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



Figura 12. A) Cajas de aluminio con películas de 2x2 y conos de papel filtro Whatman.



Figura 13. Peso de la película y cono en la balanza analítica (OHAUS ADVENTURER).

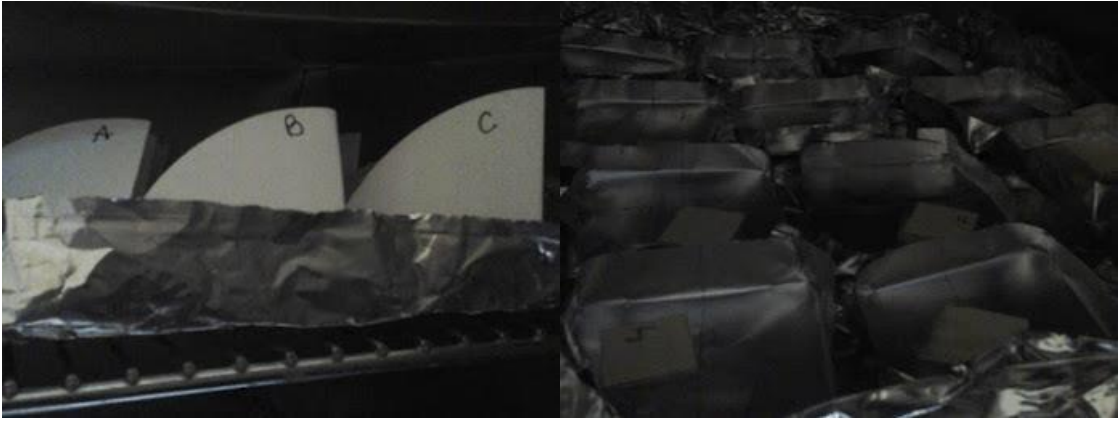


Figura 14. Conos colocados en el horno Quincy Lab junto con la charola con película.



Figura 15. Peso de la charola con película y cono después de 24 horas.

3.2.6 Solubilidad

Las muestras secas se colocaron en vasos de precipitado de 250 mL con 60 mL de agua destilada, enseguida las muestras se pusieron en una parrilla con una agitación de 400 rpm durante un tiempo de 10 min (figura 16). Las soluciones obtenidas de este proceso fueron filtradas con la ayuda de conos de papel filtro Whatman (figura 17). Los conos fueron colocados en charolas de aluminio y llevados a la estufa durante un tiempo de 24 h a 60°C (figura 18). Al término de este lapso los conos fueron pesados con la ayuda de una balanza analítica (Adventurer Ohaus Corp., Pine Brook, New Jersey, U.S.A). Para determinar los porcentajes de solubilidad fue necesario utilizar la ecuación. Las muestras se analizaron por duplicado.

Ecuación 2:

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

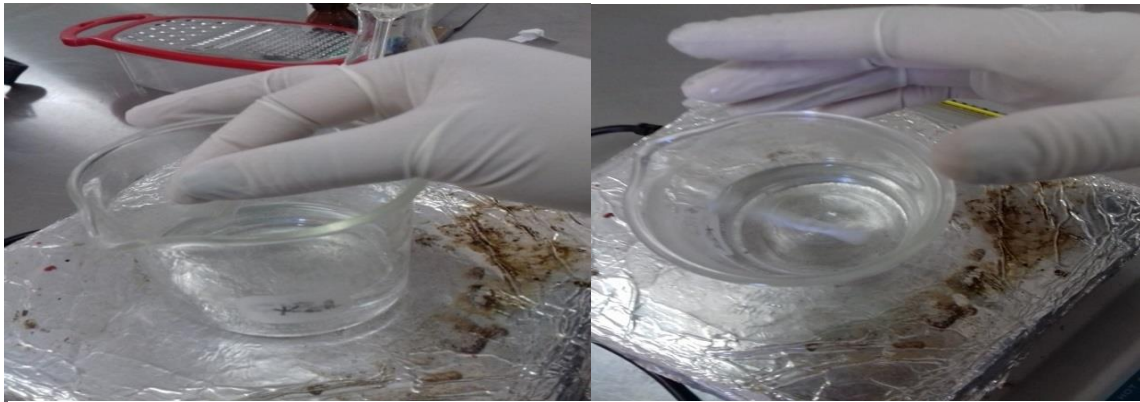


Figura 16. Muestra seca colocada en vaso de precipitación con agitación de 400 rpm.



Figura 17. A) Muestra filtrada con ayuda de cono de papel Whatman B) Muestras colocadas en charolas de aluminio.



Figura 18. Conos colocados en estufa.

3.2.7 Permeabilidad

La determinación de la permeabilidad al vapor de agua de las películas fue determinado por el método de Salvutsky *et al* (2011). Se colocó cloruro de calcio (CaCl_2) dentro de un reactor de acrílico previamente diseñado. Después de esto se colocó la película y se selló herméticamente. Se registró el peso del reactor solo y con $\text{PC}+\text{CaCl}_2+\text{P}$ en una balanza analítica (OHAUS ADVENTURER). Se introdujo en la estufa de secado (QUINCY LAB). Se registró el aumento de peso cada 30 min por 3 horas. El análisis se realizó a 25°C por triplicado (75%, 85%, 100%), llevando un registro del comportamiento de ganancia o pérdida de peso con la balanza (figura 19).



Figura 19. Material empleado para la determinación de permeabilidad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico de los resultados se realizó en cinco etapas. La primera corresponde al análisis de tres variables con las que se mide el color y el grosor, donde se utilizó un ANOVA en bloques completamente al azar en dos repeticiones. La segunda etapa fue el análisis de opacidad con la frecuencia 500 nm y transmitancia con la frecuencia 600 nm, donde se utilizó un diseño completamente al azar, con dos repeticiones. La tercera etapa consistió en el análisis de solubilidad en donde también se utilizó el diseño completamente al azar con 2 repeticiones. La cuarta etapa se trató del análisis de humedad donde se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con dos repeticiones. Para el análisis de permeabilidad, se tomaron en cuenta dos variables: la pendiente y la WVP (permeabilidad al vapor de agua), estas fueron evaluadas respecto a los doce tratamientos (formulación de las películas) y tres porcentos de humedad relativa (100%, 85% y 75%).

4.1 Análisis de color

El color es un factor de calidad de importancia fundamental de los alimentos, ya que la apariencia visual es el primer sentido que se utiliza y por tanto una característica decisiva en la elección de estos (Herrera-Silva *et al.*, 2015).

Velázquez *et al.* (2014) menciona que uno de los principales propósitos de los recubrimientos es mejorar la apariencia del producto, brindando brillo y a veces color que debe mantener a través de los procesos de transporte, manejo y comercialización.

4.1.1 Luminosidad

En el parámetro (L^*) nos indica que existe una diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las formulaciones B, G y la K. Comparadas con las formulaciones A, C, D, E, F, H, I, J, K y la L. La figura 20 muestra como incrementan, disminuyen y algunas formulaciones permanecen casi constantes. Siendo las formulaciones A y la G, las que se distinguen fácilmente una por su alto valor numérico de 90.49 y la otra por su bajo valor numérico de 78.92.

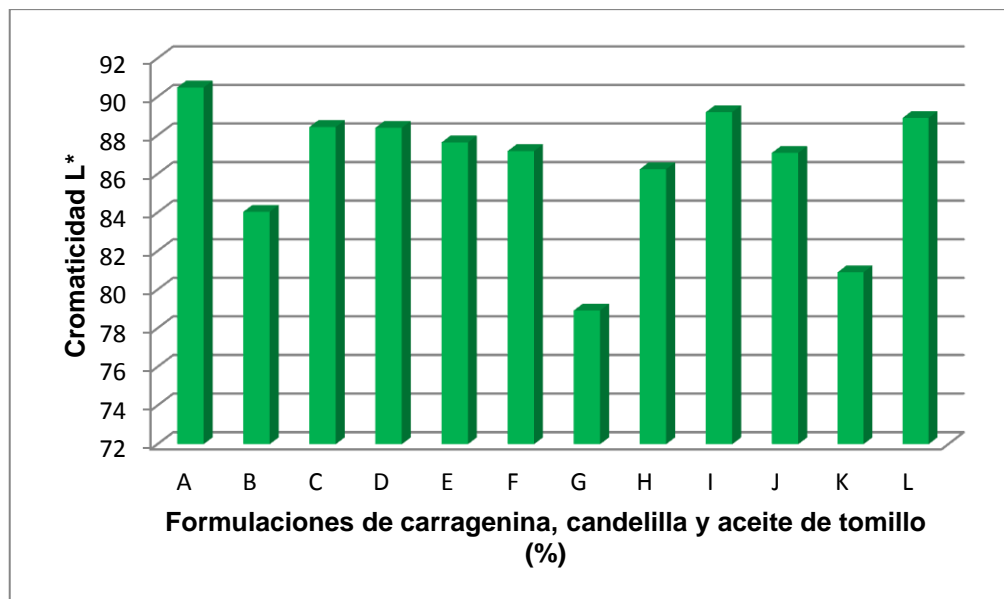


Figura 20. Comportamiento del eje “L” de la variable de color.

Herrera-Silva *et al.* (2015) menciona que los valores promedio de la luminosidad en distintas películas supuestamente presentan una tendencia similar, es decir, aumentar el espesor, disminuye la luminosidad. Y los análisis de varianza demuestran que esto solo es cierto en la película MPA (mucilago de nopal seco, polietilenglicol y glicerol), en estas películas a menor espesor mayor luminosidad.

4.1.2 Cromaticidad a*

En el parámetro (a*) se puede observar claramente que hay un comportamiento creciente, el cual indica que existe diferencia significativa en las muestras ($p>0.05$). La figura 21, muestra que las formulaciones F, C, J, A, H y la I, tuvieron valores negativos que van desde -0.35 hasta -0.05, y las muestras E, K, D, L, B y la G, tuvieron valores positivos que van desde 0.10 hasta llegar a 0.49. Siendo las muestras F y la G las formulaciones en las que se muestra mayor diferencia. La muestra F con un valor negativo bajo comparado con las demás formulaciones de 0.35 y la muestra G con un valor positivo alto comparado con las demás formulaciones de 0.45.

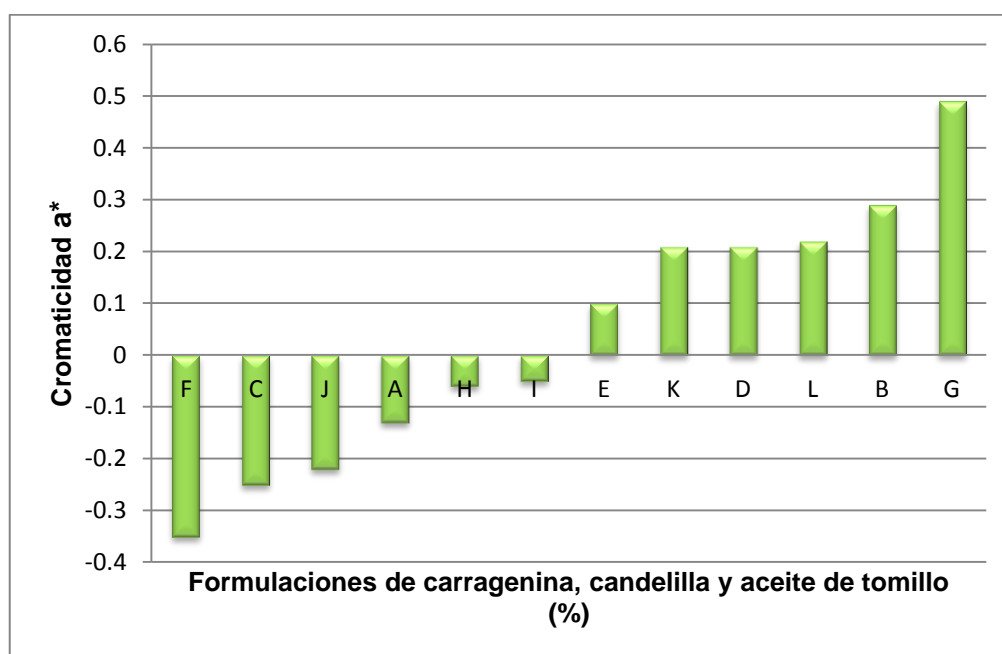


Figura 21. Comportamiento de eje "a" de la variable de color.

4.1.3 Cromaticidad b*

En el parámetro (b*) muestra que existe una diferencia significativa ($p > 0.05$). La figura 22, indica cómo algunas formulaciones aumentan poco a poco entre un uno %, y algunas permanecen casi constante. La muestra H es la que se hace notar más entre todas las formulaciones con un valor alto de 10.07, comparada con la muestra A la cual tuvo un valor bajo de 3.75.

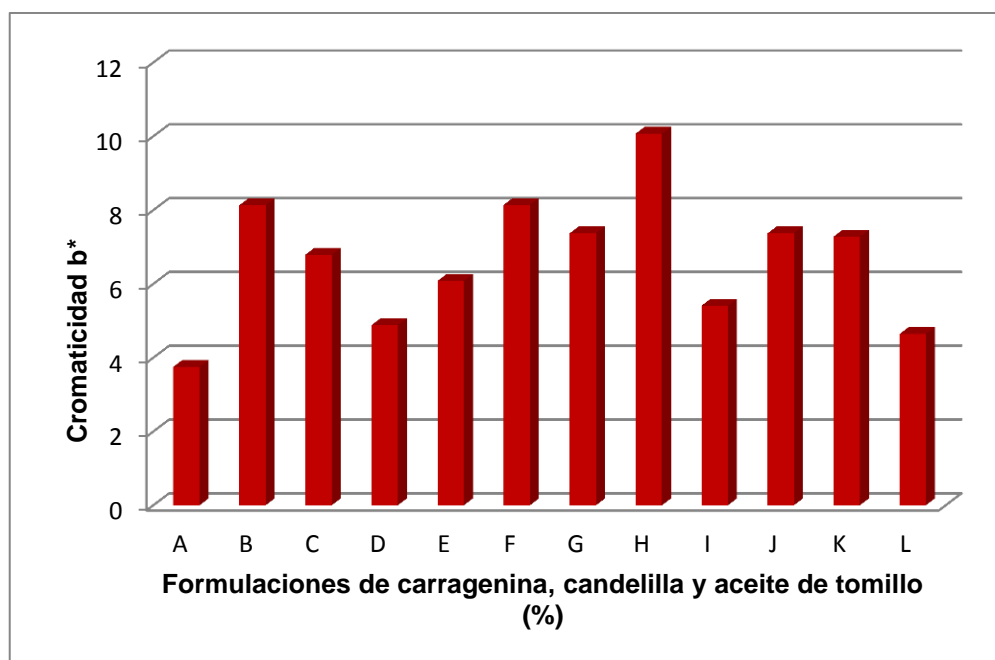


Figura 22. Comportamiento del eje “b” de la variable de color.

Herrera-Silva *et al.* (2015) menciona que otro factor importante que puede influir o afectar en la coloración de las películas es la presencia de plastificantes.

4.2 Grosor

En el análisis de grosor se encontró diferencia significativa. La figura 23, muestra que las formulaciones B, F, H, J, sobresalen entre las demás muestras con un valor de 3.6, 4.4, 3.2 y 5.0. En cambio las formulaciones A, C, D, E, G, I, K, y la L, tuvieron un valor constante de 0.01.

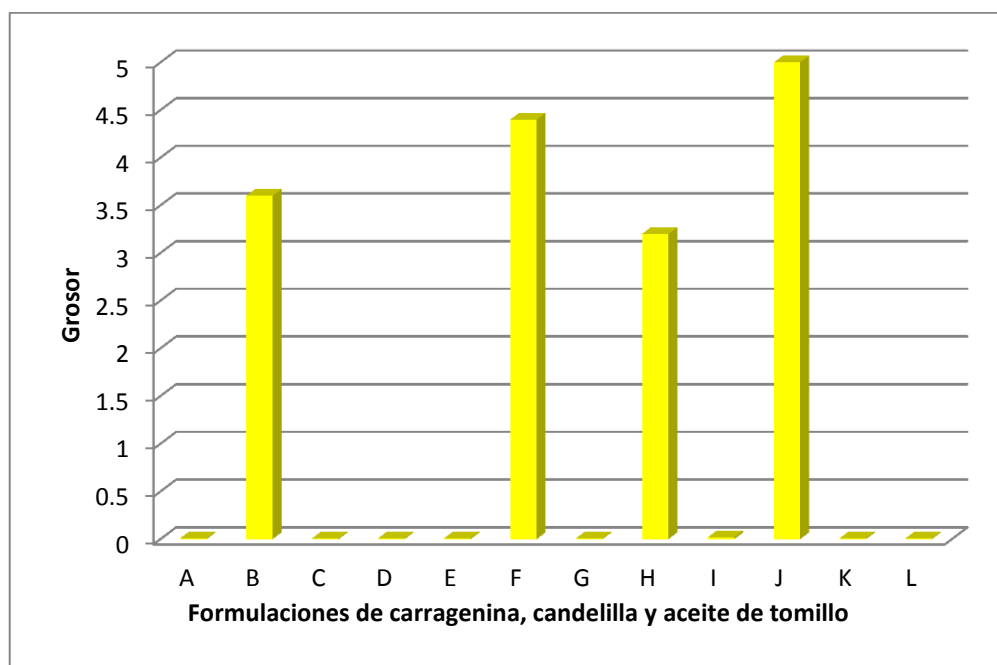


Figura 23. Comportamiento de la variable grosor.

Algunos autores mencionan que este parámetro debe ser considerado para que el recubrimiento comestible en general forme una capa fina y delgada sobre el alimento. Sin embargo no se han reportado datos de grosor adecuados o requerido en películas comestibles (Oregel-Zamundio *et al.*, 2016).

4.3 Opacidad

En el análisis de opacidad a 500 nm. No se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$). La figura 24, muestra como las formulaciones B, C, D, E, F, G, H, J, K y la L, permanecieron constantes con un valor de 0.01, a diferencia de las formulaciones A y la I. Las cuales tuvieron valores más altos. La formulación A con un valor de 0.02 nm y la formulación I 0.03. Pero todas las formulaciones no obtuvieron un valor más alto que pasara del 0.

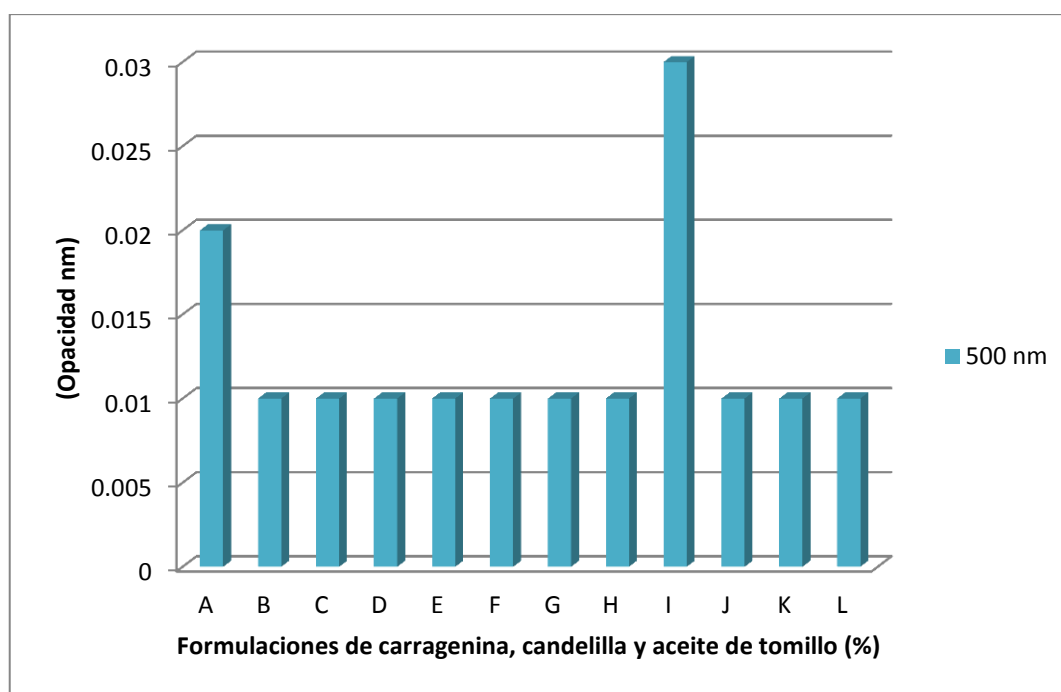


Figura 24. Comportamiento de la variable de opacidad a 500 nm.

Según Herrera-Silva (2015) con la habilidad de los materiales para transmitir la luz depende de sus propiedades para absorber y dispersar la luz.

4.4 Determinación de transmitancia

En el análisis de transmitancia a 600 nm. No se encontró diferencia significativa. Como se puede observar en la figura 25, las formulaciones G y la I, tienen valores bajos de 3.13 y 3.19, comparadas con las demás formulaciones las cuales no se ve reflejada tanta diferencia ya que permanecieron casi constantes, siendo la formulación D la muestra que sobre sale entre todas con un valor alto de 3.60. Pero no hubo una formulaciones que pasaras o sobresalieran aún más.

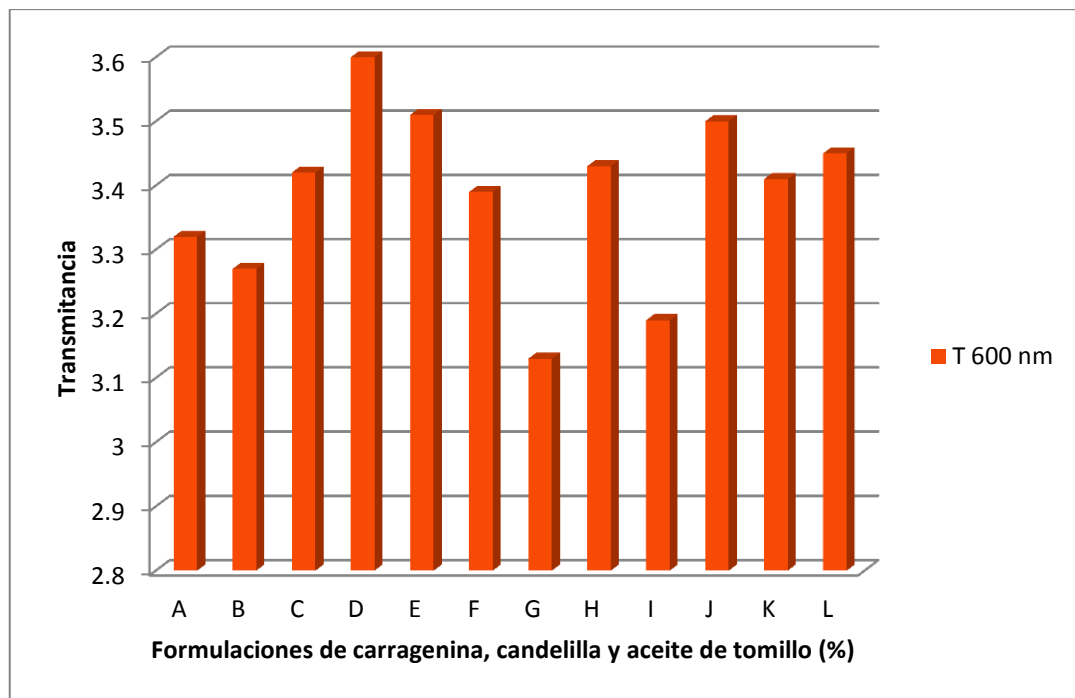


Figura 25. Comportamiento de la variable de transmitancia a 600 nm.

La transparencia se cuantifica como transmitancia, porcentaje de intensidad lumínica que atraviesa la muestra. Es decir una material presenta transparencia cuando la transmitancia es alta ya que deja pasar fácilmente la luz (Miramont, 2012).

Algunos autores reportan que las películas comestibles ayudan a conservar la apariencia y algunos otros como reportaron también buenas propiedades de transparencia de películas comestibles a base de diferentes almidones de fuentes como trigo, maíz, papa y yuca, pero no se han reportado datos de transparencia para películas comestibles formuladas con cera de candelilla, por este motivo es importante tomar en cuenta este parámetro en la caracterización de películas comestibles, ya que de él dependerá en muchas ocasiones la conservación de las características organolépticas visuales y la aceptación del consumidor (Oregel-Zamundio *et al.*, 2016).

4.5 Contenido de humedad

En la evaluación de la variable % de humedad muestra que existe una diferencia significativa ($p > 0.05$). Como se puede observar en la figura 26, como las formulaciones descienden, incrementan y así sucesivamente. Las formulaciones G, K, y la L. permanece casi constante y las formulaciones C, H, y la I, también hicieron lo mismo las formulaciones D, E, y la F de igual manera. La formulación J es la que destaca más entre todas las formulaciones por su alto valor de 2.99% de humedad comparada con las demás formulaciones, en especial con la formulación E que tiene un valor 1.86% de humedad. Lo que significa que adquirió más humedad la formulación J comparada con la formulación E.

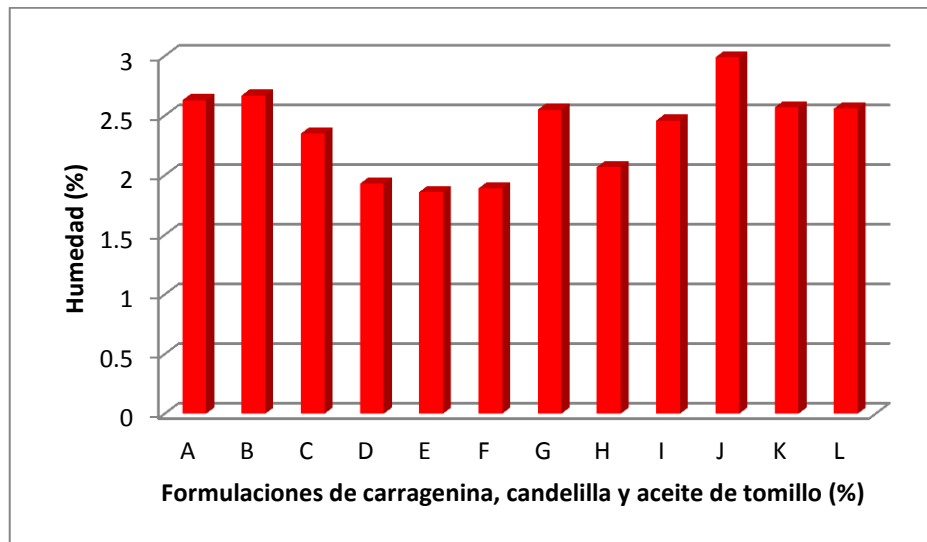


Figura 26. Gráfica de porcentaje de humedad a base de cera de candelilla, plastificantes y carragenina.

Saucedo-Pompa *et al.* (2009) menciona que el uso de películas comestibles aplicados a frutos presentan una barrera efectiva que evita la pérdida de humedad.

Acorde a Oregel-Zamundio (2016) no se han reportado porcentajes de humedad adecuadas para la aplicación de películas comestibles, sin embargo investigaciones han reportado que las formulaciones con cera de candelilla aportan una excelente barrera hidrofóbica.

4.6 Solubilidad

La solubilidad se define como el porcentaje de materia seca de la película solubilizada luego de 24 horas de inmersión en agua (Angel, 2015). En el análisis de solubilidad existe diferencia significativa. La figura 27, muestra como la muestra B se distingue entre las demás formulaciones con un valor bajo de 96.01% de solubilidad. Comparado con las demás formulaciones que permanecieron casi constantes entre 98% y 99%.

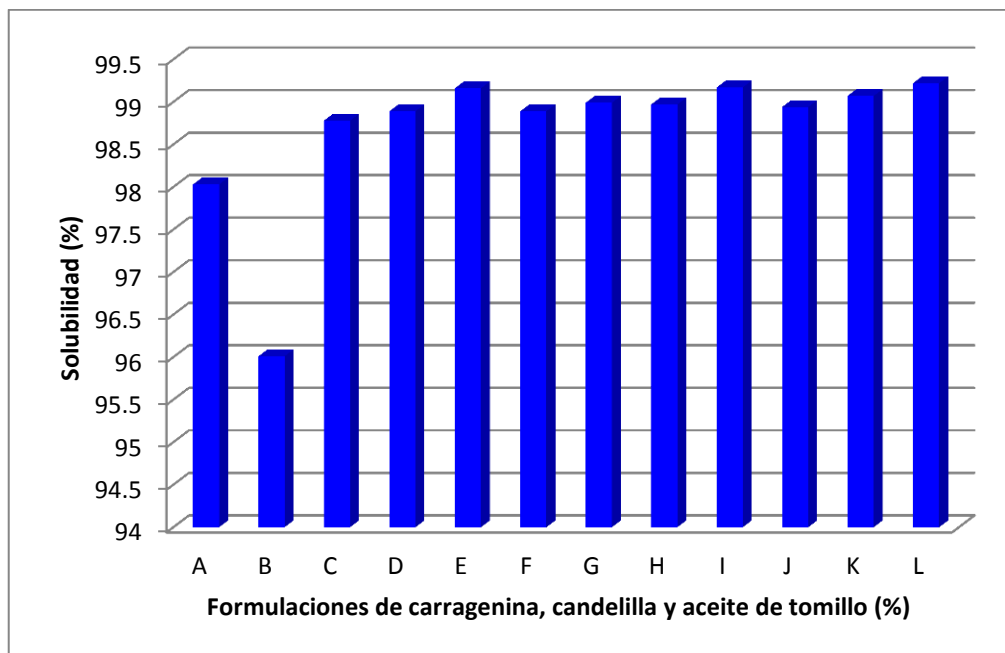


Figura 27. Gráfica de solubilidad a base de cera de candelilla, plastificantes y carragenina.

De acuerdo con Montalvo *et al.*, (2012) la solubilidad es una propiedad importante que se relaciona con el uso que podrá tener la película comestible; por ejemplo si se desea que proporcione resistencia a la humedad e integridad al alimento se preferirá que la película comestible sea insoluble, mientras que una película soluble se requiere sobre todo si contiene algún ingrediente específico.

No se han reportado datos de solubilidad para películas comestibles a base de cera de candelilla, sin embargo, las características fisicoquímicas así como solubilidad de las películas comestibles dependerá de cada uno de los componentes integrados en la formulación, en la elaboración de películas comestibles se emplean mezclas con el fin de contrarrestar las deficiencias propias de cada componente y así poder mejorar las propiedades del material resultante (Oregel-Zamundio *et al.*, 2016).

4.7 Permeabilidad

En el análisis de permeabilidad al vapor de agua, muestra que existe una diferencia significativa entre las tres corridas realizadas a 100%, 85% y 75%. La figura 28 muestra que algunas formulaciones obtienen resultados casi similares en las tres corridas, y en otras es todo lo contrario se obtiene resultados diferentes. Las formulaciones que destacan más a simple vista entre todas las muestras realizadas una por su alto valor numérico y otra por su bajo valor numérico, son la muestras H con la corrida a 75% de humedad la cual obtuvo un valor de 7.89% de humedad y la muestra C con la corrida a 100% obtuvo un valor de 1.79 % de humedad.

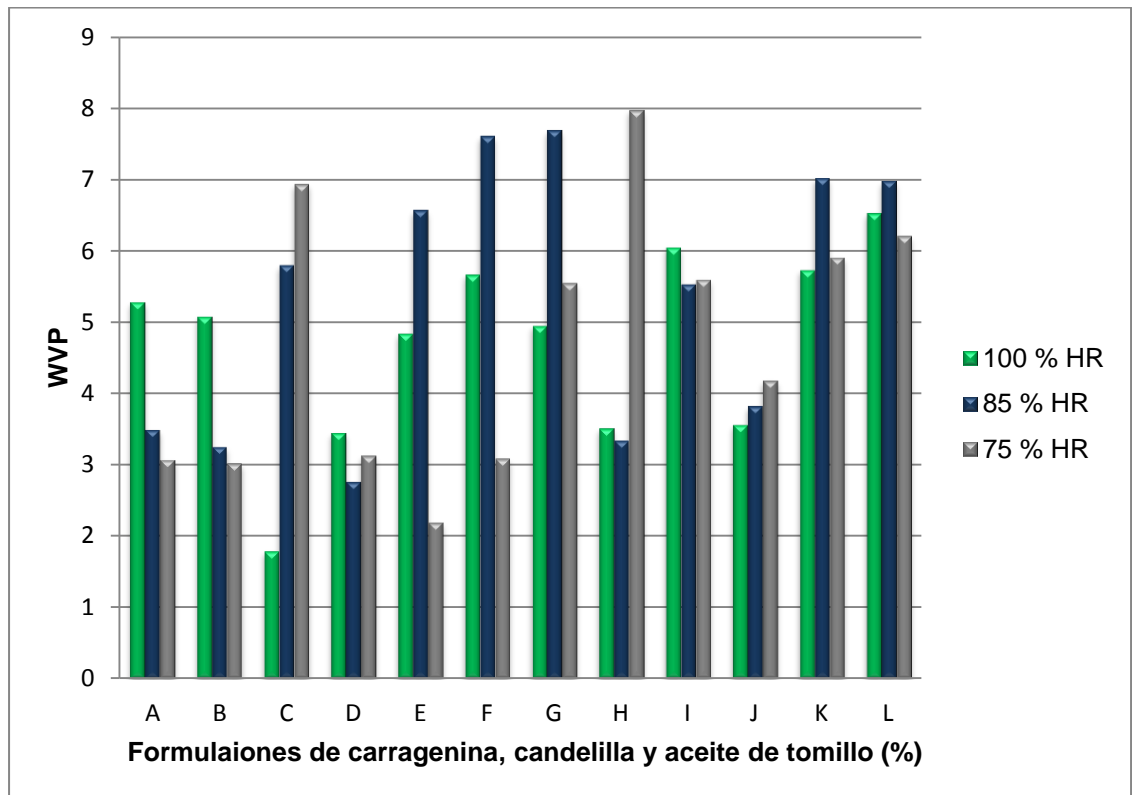


Figura 28. Comportamiento de tres diferentes porcentajes (100%, 85%, 75%) que se manejaron en esta variable.

De acuerdo con Oregel-Zamundio (2016) la cantidad de cera de candelilla aplicada a formulaciones podría ser la responsable de la permeabilidad al vapor de agua, posiblemente debido a las características propias de la cera, lo que concuerda con algunos autores que dicen que los recubrimientos a base de lípidos y ceras presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua. La cera de candelilla actúa como equivalente a un compuesto lipídico, estos compuestos son muy eficientes para reducir la deshidratación de los productos debido a su baja polaridad.

López-Díaz (2015) la concentración del plastificante es un factor que influye en la transferencia al vapor de agua. La adición de glicerol aumenta el espacio entre las cadenas de polímeros, lo cual promueve la difusividad del vapor de agua a través de la película, por lo tanto acelera la transferencia al vapor de agua.

El glicerol en las formulaciones hace que el producto final incremente su permeabilidad al vapor ésta debido a la naturaleza hidrofílica del glicerol el cual fácilmente forma puentes de hidrógeno con las moléculas de agua (Enríquez, 2012).

López de Lacey (2013) se ha visto que la incorporación de aceites esenciales dentro de la matriz polimérica produce una mejora en los valores de permeabilidad al vapor de agua y gases. Generalmente los valores de permeabilidad al agua de las películas disminuyen en proporción a la cantidad de aceite esencial.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Se logró obtener las doce películas comestibles de acuerdo a las formulaciones establecidas con las variables de cera de candelilla, carragenina y aceite de tomillo. Las doce películas comestibles presentaron diferencias en sus características fisicoquímicas esto debido a las concentraciones de cada uno de sus componentes, obteniendo así información útil para ser utilizada en la conservación de un determinado alimento.

Los resultados obtenidos demuestran que existe una diferencia significativa en cuanto a los parámetros de color L^* , a^* y b^* . ya que en el parámetro en L^* se encontró un valor alto en la formulación A de 90.94 y dos valor bajo en las formulaciones G y la K los cuales son 78.92 y 80.90. En el parámetro a^* de igual manera se encontró diferencia significativo entre las formulaciones ya que hubo muestras de hasta valores negativos como -0.35 tal es el caso de la formulación F, y muestras con valores más altos como la formulación G con 0.49. En el parámetro b^* también se encontró diferencia significativa entre las muestras, tal es el caso en la formulación A con un valor numérico bajo de 3.75, comparada con la muestra H con un valor numérico alto de 10.07. El que exista diferencia significativa entre las formulaciones se debe a las concentraciones con las que fueron elaboradas.

En el análisis de grosor se encontró diferencia significativa. Las mejores formulaciones fueron la B, F, H y la J, ya que tiene un mayor grosor y podrán brindar una mejor protección al alimento y además alargara la vida de anaquel de este.

En el análisis de opacidad no se encontró diferencia significativa entre las formulaciones. Las muestras que obtuvieron un valor alto fueron la formulación A y la I, con un valor numérico de 0.02 y 0.03. Y las demás formulaciones permanecieron

constantes en 0.01. No se muestra ninguna diferencia entre los tratamientos pero visiblemente demuestra que las formulaciones que A y la I, tienen mayor transparencia. En comparación con las demás formulaciones que al parecer son más opacas.

En el análisis de transmitancia no hubo diferencia significativa entre las formulaciones. La formulación G obtuvo un valor numérico bajo de 3.13 comparada, con la muestra D la cual tuvo un valor numérico alto de 3.60.

El porcentaje de solubilidad muestra que existe diferencia significativa. La formulación B obtuvo un valor bajo de 96.01 comparada con las demás formulaciones que permanecieron entre 98.03 y 99.22. Lo que significa que la muestra B es la menos soluble. Y las Formulaciones A, C, D, E, F, G, H, I, G, K, y la L presentaron mejores resultados.

En el porcentaje de humedad hubo diferencia significativa entre las formulaciones pero las muestras que destacan más a simple vista una por su alto % de humedad y otra por su bajo % de humedad, son las formulaciones E y la J.

En la variable de permeabilidad al vapor de agua la formulación con las mejor permeabilidad a 100% fue la formulación C con 1.79% de humedad. La muestra D a 85% con 2.76% de humedad y la muestra E a 75% con 2.19% de humedad.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

Avila-Sosa., López-Malo. Aplicación de sustancias antimicrobianas a películas y recubrimientos comestibles. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas- Puebla. San Andrés Cholula, Pue., México.

Acofarma. 2016. Ficha de información técnica. Tween, disponible en: <http://www.acofarma.com/admin/uploads/descarga/408613a7fe07629597df9e0d232a7707d11bf48fb03b/main/files/Tween.pdf>. **(25, octubre, 2016).**

Angel, E., 2015. Efecto de un recubrimiento comestible funcional a base de Goma Guar sobre la calidad postcosecha de guayaba. Tesis de Licenciatura de la carrera Ingeniero en Ciencia y Tecnología de alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 79 Pág.

Bertuzzi, M. A. Armada, M. Gottifredí, J.C. Aparicio, A. R. Jiménez. 2002. Estudio de la permeabilidad al vapor de agua de films comestibles para recubrir alimentos. Universidad Nacional de Catamarca. 10 Pág.

Castellanos García, R., 2006. Desarrollo y estandarización de un hipocalórico a partir de la utilización del extracto de Stevia rebaudina como agente edulcorante. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Salle Bogotá D.C. 114 Pág.

- Caamal-Herrera, I., F.E. Pereira-Pacheco, T.J. Madera- Santana, 2011.** Caracterización óptica y mecánica de películas comestibles a base de mezclas binarias de almidones de *Phaseolus lunatus* L, *Manihot esculenta* Crantz Y *Zea mays* L. Universidad Autónoma de Yucatán. 10 Pág.
- Cruz-Marfin, R., Y. Martinez-Tenorio, A. Lopez-Malo, A., 2013.** Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales como alternativa de empaque de alimentos. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. 11 Pág.
- Cabello Alvarado, CH., A. Sáenz Galindo, L. Barajas Bermúdez, C. Pérez Berumen, C. Ávila Ortega, J. Valdés Garza. 2013.** Cera de Candelilla y sus aplicaciones. Universidad Autónoma de Coahuila. 7 Pág.
- Domínguez Courtney, M .F & M.T. Jiménez Mungía. 2012.** Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas puebla. 12 Pág.
- De León Zapata, M.A., A. Sáenz-Galindo, R. Rojas-Molina, R. Rodríguez-Herrera, D. Jasso- Cantú. 2015.** Edible candelilla wax coating with fermented extract of tarbush improves the shelf life and quality of apples. Department of Research (DIA-UA-deC), School of Chermistry, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo 25280 Coahuila, México. 6 Pág.
- De Ancos Begoña., D. González-Peña, C. Colina-Coca, Sánchez-Moreno. 2015.** Uso de Películas/ Recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Volumen (16). 11 Pág.

- Escobar D.,** Sala A, Silvera C, Harispe R, Márquez R. 2009. Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteína de suero láctico: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. Revista Universidad Católica de Uruguay Dámosa Antonio Larrañaga (UCU). Volumen (4): 4 Pág.
- Espinoza-Herrera & Sánchez-Flores M.** 2012. Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de frutos de guayaba. Universidad Autónoma del Estado de México. 7 Pág.
- Enríquez C.,** Velasco M., Vicente Ortiz G. 2012. Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. Artículo biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Volumen (10): 10 Pág.
- Famá, L.,** L.N. Gerschenson, S.N Goyanes. 2009. Nanocompuestos biodegradables y comestibles: almidón-polvo de ajo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 8 Pág.
- Herrera-Silva, M.,** 2015. Caracterización óptima, porcentaje de humedad solubilidad y permeabilidad al vapor de agua de una película comestible a base de Alginato-Goma Guar. Tesis de Licenciatura de la carrera Ingeniero en Ciencia y Tecnología de alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 73 Pág.
- López de Lacey Ana María.,** 2012. Diseño, desarrollo y aplicación de envases comestibles potencialmente bioactivos. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. 400 Pág.

- López-Díaz., A. López-Malo., & E. Palou.** 2015. Películas comestibles elaboradas a base de frutas y verduras. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. 12 Pág.
- Miranda, P.,** Galo Cárdenas, D. López, A. Lara Sagahon. 2003. Comportamiento de películas de Qitosán compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate. Revista Universidad Nacional Autónoma de México. Volumen (47): 8 Pág.
- Martínez J.M.,** Artés F. 2005. Nuevo protocolo de medida de la permeabilidad de gases a través de membranas poliméricas. Aplicación a la técnica de envasado de productos hortofrutícolas en atmósferas modificadas. Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). 10 Pág.
- 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. Buenos Aires. 109 Pág.
- Montalvo, C.,** A. López-Malo & E. Palou. 2012. Películas comestibles de proteína: características, propiedades y aplicaciones. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. 15 Pág.
- Ochoa-Reyes, E.,** Saucedo-Pompa, de la Garza, G. Martínez, Rodríguez & Aguilar-González. 2010. Extracción tradicional de cera de Euphorbia antysiphilica. Revista Universidad Autónoma de Coahuila. Volumen (2): 13 Pág.
- Oregel-Zamundio, E.,** C.N. Aguilar, G. Oyoque-Salcedo, M.V. Angoa-Pérez., H.G. Mena-Violante. 2016. Caracterización fisicoquímica de películas comestibles base de cera de candelilla. Departamento de investigación de alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Coahuila. 8 Pág.

Parzanese, M., 2016. Tecnologías para la Industria Alimentaria. Películas y Recubrimientos Comestibles Ficha N°7, disponible en: www.alimentosargentinos.gob.ar. (25, octubre, 2016).

Rubio-Anaya., & J.A. Guerrero-Beltrán. 2012. Polímeros utilizados para la elaboración de películas biodegradables. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. 9 Pág.

Sánchez-González., M Vargas, C González-Martínez, M Cháfer, A Chiralt. 2008. Incorporación de productos Naturales en recubrimientos comestibles para la conservación de alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. 9 Pág.

Slavutsky, A., M. Armada, A. Bertuzzi. 2011. Mejora de las propiedades de películas de almidón mediante el agregado de nanoarcillas. Agencia Nacional De Promoción de Ciencia y Tecnología (ANPCyT). 11Pág.

Solís, C. P., 2011. Evaluación de la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare L.*) y tomillo (*Thymus vulgaris L.*) como potenciales bioconservadores en carne de pollo. Tesis de Licenciatura. Escuela superior politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 141 Pág.

Saucedo-Pompa, S., A. Sáenz-Galindo, D. Jasso-Cantú, M.A. Aguilar-González, C.N. Aguilar. 2009. Influencia del ácido elágico y de cera de candelilla de cubiertas comestibles en la vida de anaquel de manzana. Universidad Autónoma de Coahuila. 6 Pág.

Vázquez-Briones, M.C., & J.A. Guerrero-Beltrán. 2013. Recubrimientos de frutas con biopolímeros. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. 10 Pág.

Velázquez-Moreira, A., & J.A. Guerrero-Beltrán. 2014. Algunas Investigaciones recientes en recubrimientos comestibles aplicados en alimentos. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. 8 Pág.