

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



TESIS

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE GLICEROL, SORBITOL Y XILITOL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS Y DE BARRERA DE PELÍCULAS A BASE DE QUITOSANO.

POR:

IDALIA DOMÍNGUEZ MIGUEL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

JUNIO 2014

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

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE GLICEROL,
SORBITOL Y XILITOL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS Y DE
BARRERA DE PELÍCULAS A BASE DE QUITOSANO.

POR:

IDALIA DOMÍNGUEZ MIGUEL

TESIS

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

INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS


El presente trabajo ha sido asesorado y aceptado de acuerdo al artículo 89 del
Reglamento Académico para Alumnos de Licenciatura por el siguiente Comité:



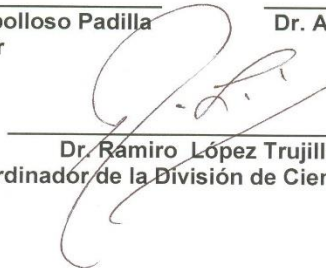
M.C. Xochitl Ruelas Chacón
Asesor principal



M.C. Oscar N. Reboloso Padilla
Asesor



Dr. Antonio F. Aguilera Carbó
Asesor



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



Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Junio 2014

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

"Evaluación del efecto de la concentración de glicerol, sorbitol y xilitol sobre las características ópticas y de barrera de películas a base de quitosano"

POR:

IDALIA DOMÍNGUEZ MIGUEL

TESIS

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

INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

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

M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla



Presidente

Lic. Laura Olivia Fuentes Lara



Vocal

Dr. Heliodoro de la Garza Toledo



Vocal

Q.F.B. Carmen Julia García



Vocal

Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Junio, 2014

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada quiero agradecer a Dios por permitirme llegar hasta etapa de mi vida, pues sé que este logro no habría sido posible sin su amor y sus planes perfectos, por cada día que me permitió para que pudiera llegar hasta hoy y por la vida tan maravillosa que me ha regalado. Por estar conmigo siempre y por su amor perfecto que fue la razón principal para que yo pudiera terminar este proyecto. Gracias Dios por la vida por todo lo que me has dado.

A mis padres Urbano Domínguez Hernández y Margarita Miguel Segura, que sin su apoyo jamás hubiera sido posible lograr una carrera profesional, por sus palabras de aliento, por llorar y por reír conmigo, por la confianza tan grande que me brindaron, acompañándome en cada momento de mi camino, por sus consejos y porque no también por sus regaños, por su amor incondicional por hacerme una mujer de bien y por la vida que me han dado, los amo mamá y papá.

A mis hermanos Rodolfo, Juan, Roy, Adrián, Abigail, y a Urbano, los amo, y les agradezco por estar conmigo siempre, por acompañarme y alentarme a seguir con mis estudios, por la confianza que siempre tuvieron en mí, por las risas, las lágrimas compartidas, los juegos y por los consejos, gracias por su amor.

A mis amigos por su apoyo, sus consejos, por compartir conmigo lágrimas, risas, enojos, desveladas, solo me queda decir gracias por su incondicional apoyo, los quiero y agradezco a Dios que los puso en mi camino, como una segunda familia, Juanito, Dulce, Luky, Isabel, Rosario, Ángeles. Ahora que concluimos una etapa de nuestras vidas, aun a pesar de eso espero seguir contando con ustedes y no está de más decirles que siempre contarán conmigo y que las llevo en mi corazón.

*Quiero también agradecer a una persona tan especial en mi vida, por siempre impulsarme a seguir adelante desde el momento en que te conocí y que siempre confió en mí, a **Osiel**, gracias por estar a mi lado, por quererme y apoyarme, siempre estarás en mi corazón, gracias por compartir conmigo momentos buenos y otros no tanto, por secar mis lágrimas y compartir mis alegrías. Gracias por ser parte de mi vida.*

*A mi asesora, por apoyarme para que este trabajo se culminara, por su atención Maestra **Xóchitl** por apoyo y su tiempo dedicado a mí y este trabajo. Porque más que una maestra más, siempre mostro su amistad para conmigo. Gracias de corazón.*

*Al Ing. **Valentín** y su esposa **Doña Coco**, por abrirme las puertas de su hogar, por su apoyo en esta etapa para el logro de mi titulación. Gracias por ese apoyo y por la familia que en ustedes encontré.*

*A mis profesores que fueron una parte indispensable para el logro de mi formación profesional, principalmente a la Maestra **Xóchitl**, a la Maestra **Laurita**, al Dr. **Heliodoro** y al Dr. **Antonio**, por sus enseñanzas y sus consejos.*

*Doy gracias a mi “**Alma Terra Mater**” por cobijarme en su seno, por abrirme camino para que culminara una etapa más de mi vida, y porque orgullosamente puedo decir que soy buitre de corazón, y ha llegado el momento de emprender el vuelo.*

*También agradezco a mis **compañeros de generación** por todo lo vivido y porque aquí concluimos una etapa de nuestras vidas, pero sabemos que con Dios en nuestro camino tendremos más éxitos y más camino por recorrer.*

Debe evitarse hablar a los jóvenes del éxito como si se tratase del principal objetivo en la vida. La razón más importante para trabajar en la escuela y en la vida es el placer de trabajar, el placer de su resultado y el conocimiento del valor del resultado para la comunidad.

Albert Einstein

DEDICATORIA

*La realización y culminación de este trabajo, lo cual me permite obtener mi título, quiero dedicárselo a mi hermosa **Madre**, quien luchó por mí siempre, quien estuvo conmigo siempre, confiando en mí, dándome palabras de aliento, por sus consejos, por secar mis lágrimas y compartir mis alegrías, quiero mamá que sepas que estoy muy orgullosa de ti, que tú fuiste siempre la razón principal para que yo pudiera llegar hasta este momento. Te amo*

*También quiero dedicárselo a mi **padre** y agradecerle por su confianza y su apoyo durante toda esta etapa que ahora concluyo y que es tan importante para mí como para Él, te amo papi, gracias por tus consejos, por tu amor. Espero que esto sea motivo de orgullo para ti papi. Te amo*

*A mis **hermanos** que fueron una parte esencial de esta etapa para que yo pudiera seguir y concluir con este trabajo, quiero dedicárselos porque son lo mejor que mis padres me han dado, a pesar de las peleas, los enojos, las tristezas, pero sobre todo porque aun a pesar de eso jamás dejaron de confiar en mí y jamás me dejaron sola, los amo.*

*Agradezco a **Dios** en todo momento, por todo lo vivido, por su amor pero sobre todo porque cada día muestra su amor en la vida que nos brinda. . .*

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	x
RESUMEN	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Hipótesis	2
1.3 Justificación	2
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Importancia de los envases	4
2.1.1 Envases biodegradables comestibles: películas y recubrimientos	4
2.2 Generalidades sobre películas y cubiertas comestibles	6
2.2.1 Películas y cubiertas comestibles.....	6
2.2.2 Función de las películas	7
2.2.3 Requerimientos y ventajas al uso de películas comestibles	8
2.2.4 Usos de películas y recubrimientos comestibles	9
2.3 Componentes de las películas.....	10
2.3.1 Lípidos.....	10
2.3.2 Mezclas o sistemas multicomponentes	11
2.3.3 Hidrocoloides.....	11
2.3.4 Polisacáridos	11
2.3.4.1 Almidones.....	12
2.3.4.2 Alginatos.....	12
2.3.4.3 Pectinas.....	12
2.3.4.4 Carragenanos.....	12
2.3.4.5 Derivados de la celulosa	13

2.3.5 Proteína.....	13
2.3.5.1 Caseína.....	13
2.3.5.2 Proteínas del suero lácteo.....	14
2.3.5.3 Colágeno.....	14
2.3.5.4 Zeína.....	14
2.4 Formación y aplicación de las películas comestibles.....	14
2.4.1 Influencia de la técnica de la preparación en las interacciones entre las sustancias hidrofóbicas y los agentes formadores de películas.....	16
2.4.2 Aditivos.....	16
2.4.3 Plastificantes.....	17
2.4.3.1. Glicerol.....	18
2.4.3.2. Xilitol.....	19
2.4.3.3 Sorbitol.....	19
2.5 Propiedades mecánicas y de transporte.....	20
2.6 Películas de quitosano.....	21
2.6.1 Generalidades de la quitina y el quitosano.....	21
2.6.2 Grado de acetilación.....	22
2.6.3 Peso molecular y viscosidad del quitosano.....	22
2.6.4 Solubilidad.....	22
2.6.5 Obtención del quitosano.....	23
2.6.5.1 Método químico.....	24
2.6.5.2 Método biológico.....	24
2.7 Propiedades fisicoquímicas del quitosano.....	25
2.7.1 Propiedades biológicas del quitosano y sus películas.....	25
2.7.2 Aplicaciones de las películas de quitosano como empaque para alimentos.....	25
2.7.3 Perspectivas futuras en el uso del quitosano.....	26
2.8 Tecnologías para la aplicación de recubrimientos comestibles y películas comestibles.....	27
2.8.1 Inmersión.....	27
2.8.2 Aspersión.....	27
2.8.3 Casting.....	27
2.8.4 Métodos de elaboración de películas.....	28

2.8.4.1 Por evaporación de solventes	28
2.8.4.2 Por extrusión	29
2.9 Evaluación sensorial	29
2.9.1 Factores que influyen en la evaluación sensorial	30
2.9.2 Tipos de jueces	30
2.9.2.1 Juez experto	30
2.9.2.2 Juez entrenado.....	31
2.9.2.3 Juez semientrenado	31
2.9.2.4 Juez consumidor	31
2.9.3 Clasificación de las pruebas sensoriales	31
2.9.3.1 Pruebas discriminativas.....	32
2.9.3.2 Pruebas descriptivas	32
2.9.3.3 Pruebas afectivas	32
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.4 Preparación de las formulaciones de quitosano	33
3.5 Propiedades físicas de las formulaciones.....	35
3.5.1 Medición del grosor	35
3.5.2 Propiedades ópticas	35
3.5.3 Medición de color.....	36
3.5.4 Contenido de humedad	37
3.5.5 Solubilidad	38
3.5.6 Permeabilidad al vapor de agua	39
3.5.7 Evaluación sensorial.....	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1 Propiedades de las formulaciones (glicerol, xilitol y sorbitol)	41
4.1.1 Factor L (glicerol, xilitol y sorbitol).....	41
4.1.2 Color factor *a.....	43
4.1.3 Color factor b*	45
4.1.4 Grosor.....	47
4.1.5 Porcentaje de transmitancia	49
4.1.6 Unidades de absorbancia por nm.....	50
4.1.7 Permeabilidad al vapor de agua (WVP).....	52

4.1.8 Porcentaje de humedad.....	55
4.1.9 Porcentaje de solubilidad.....	56
4.1.10 Evaluación sensorial.....	58
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	62
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA.....	63
CAPÍTULO VII. ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Propiedades funcionales de un recubrimiento comestible (Falguera <i>et al.</i> , 2011).....	6
Fig. 2. Obtención del quitosano desde los residuos de crustáceos (Rozas, 2008).....	23
Fig. 3. Preparación de las películas.....	34
Fig. 4. Equipo utilizado para medición del grosor.....	35
Fig. 5. Medición de transmitancia.....	36
Fig. 6. Medición del color.....	37
Fig. 7. Contenido de humedad.....	38
Fig. 8. Celdas de permeabilidad con películas.....	40
Fig. 9 Evaluación de las películas.....	40
Fig. 10. Influencia de la concentración de glicerol sobre luminosidad.....	41
Fig. 11. Influencia de la concentración de xilitol sobre luminosidad.....	42
Fig. 12. Influencia de la concentración de sorbitol sobre luminosidad.....	42
Fig. 13. Efecto de la concentración del nivel de glicerol sobre el factor a^*	43
Fig. 14. Efecto de la concentración del nivel de xilitol sobre el factor a^*	44
Fig. 15. Efecto de la concentración del nivel de sorbitol sobre el factor a^*	44
Fig. 16. Efecto de la concentración del nivel de glicerol sobre el factor b^*	45
Fig. 17. Efecto de la concentración del nivel del xilitol sobre el factor b^*	46
Fig. 18. Efecto de la concentración del nivel del sorbitol sobre el factor b^*	46
Fig. 19. Efecto de la concentración de glicerol (%) en el grosor de las películas de quitosano.....	47
Fig. 20. Efecto de la concentración de xilitol (%) en el grosor de las películas de quitosano.....	48
Fig. 21. Efecto de la concentración de sorbitol (%) en el grosor de las películas de quitosano.....	48
Fig. 22. Influencia del nivel del glicerol sobre la transmitancia de las películas.....	49
Fig. 23. Influencia del nivel del xilitol sobre la transmitancia de las películas ...	50
Fig. 24. Influencia del nivel del sorbitol sobre la transmitancia de las películas.....	50
Fig. 25. Efecto de la concentración del glicerol sobre la opacidad de las películas.....	51

Fig. 26. Efecto de la concentración del xilitol sobre la opacidad de las películas.....	51
Fig. 27. Efecto de la concentración del sorbitol sobre la opacidad de las películas.....	52
Fig. 28. Efecto de la concentración del glicerol sobre la WVP a HR a diferentes humedades relativas	53
Fig. 29. Efecto de la concentración del xilitol sobre la WVP a diferentes humedades relativas	53
Fig. 30. Efecto de la concentración del sorbitol sobre la WVP a diferentes humedades relativas	54
Fig. 31. Efecto de la concentración del glicerol sobre la humedad en las películas.....	55
Fig. 32. Efecto de la concentración del xilitol sobre la humedad en las películas.....	55
Fig. 33. Efecto de la concentración del sorbitol sobre la humedad en las películas.....	56
Fig. 34. Efecto de la concentración del glicerol sobre la solubilidad en las películas.....	57
Fig. 35. Efecto de la concentración del xilitol sobre la solubilidad de las películas.....	57
Fig. 36. Efecto de la concentración del sorbitol sobre la solubilidad de las películas.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Funciones de las películas comestibles comestibles.....	8
Cuadro 2. Reactivos empleados para la elaboración de las películas en estudio	34
Cuadro 3. Efecto de la concentración de glicerol sobre los atributos de las películas de quitosano evaluadas sensorialmente	59
Cuadro 4. Efecto de la concentración de xilitol sobre los atributos de las películas de quitosano evaluadas sensorialmente	60
Cuadro 5. Efecto de la concentración de sorbitol sobre los atributos de las películas de quitosano evaluadas sensorialmente	61

RESUMEN

El desarrollo, caracterización de películas y recubrimientos comestibles ha atraído la atención de muchos investigadores debido a la gran variedad de aplicaciones que ofrecen en general a la industria alimentaria, lo que permite mejorar y extender la vida de los productos. El utilizar quitosano para la elaboración de películas comestibles es una alternativa excelente en la industria de los alimentos, ya que presenta buenas propiedades mecánicas y de barrera al paso de vapor de agua y gases, las cuales se pueden mejorar si se añaden plastificantes. El objetivo del presente trabajo fue investigar el efecto de la concentración de glicerol, sorbitol y xilitol, sobre las características físicas, de permeabilidad al vapor de agua y sensoriales sobre las películas elaboradas con quitosano.

Se realizó la evaluación tanto de las propiedades físicas y sensoriales sobre películas comestibles a base de quitosano al 1% variando el tipo de plastificante (glicerol al 10, 15 y 20%, xilitol y sorbitol al 3, 5 y 7%) y además empleando ácido láctico al 1%. Las propiedades físicas analizadas, fueron el color, humedad, solubilidad, grosor y permeabilidad al vapor de agua, a diferentes humedades relativas (75, 85 y 100%) realizando cuatro repeticiones por plastificante y por duplicado cada prueba. En cuanto a la evaluación sensorial que se realizó, las características evaluadas en las películas fueron el color, sabor, pegajosidad y la aceptación global. Se realizó una prueba hedónica con una escala de nueve puntos con 13 jueces semientrenados.

Los datos se sometieron a un análisis de varianza utilizando un paquete estadístico JMP 5.0.1. Cuando el efecto del tratamiento fue significativo se empleó la prueba de comparación de Tukey HSD con un nivel de confianza del 95%, para identificar las diferencias significativas entre las medias individuales.

Los resultados que se obtuvieron mostraron que hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) en cuanto al color ($L, a^* b^*$) para las películas con glicerol

en el factor L y las películas con xilitol en el factor b, mostrando mayor luminosidad las películas con xilitol. En cuanto a los parámetros del grosor, el porcentaje de transmitancia, la opacidad, por ciento de humedad y de solubilidad los resultados no mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$) en todas las películas, para permeabilidad al vapor de agua (WVP) las películas con sorbitol resultaron significativamente iguales, mientras que las películas con glicerol y xilitol resultaron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). Las películas con sorbitol obtuvieron el menor porcentaje de WVP, siendo las más efectivas para una barrera eficaz.

En cuanto a los resultados de la evaluación sensorial los jueces no mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$) para los parámetros evaluados (color, sabor, pegajosidad y aceptación global) lo cual es bueno ya que todas las películas tendrían una aceptabilidad agradable de acuerdo a la escala de los valores promedio de las evaluaciones realizadas.

Palabras clave: películas, glicerol, xilitol, sorbitol, propiedades físicas, permeabilidad al vapor de agua, evaluación sensorial.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Dada la creciente demanda por parte de los consumidores de alimentos de buen sabor, nutritivos, naturales y/o mínimamente procesados y de fácil manipulación, la industria de alimentos investiga el reemplazo de los métodos tradicionales de conservación con nuevas técnicas (García, 2008).

Actualmente hay un creciente interés por el desarrollo de materiales que puedan mejorar la vida útil de los alimentos y también por la seguridad microbiológica que se les da. La innovación en los empaques alimenticios se ha ido incrementando conforme crece la demanda del consumidor por obtener mayor calidad y seguridad en los alimentos (Arévalo *et al.*, 2010). El creciente interés por el desarrollo de películas y cubiertas comestibles para incrementar la conservación de alimentos se debe fundamentalmente a las exigencias, cada vez mayores, de reducir el impacto en la contaminación ambiental que se ha producido con el incremento de desechos generados por el uso de envases y plásticos de origen sintético o no biodegradables para el empaqueo y distribución de alimentos. Los retos técnicos involucrados en producir alimentos y conservarlos con calidad estable, indican que el uso de este tipo de recubrimientos y películas será mayor de lo que actualmente es. Sin embargo, a pesar de que la información técnica disponible para la elaboración de películas comestibles es amplia, no es universal para todos los productos, lo que implica un reto para el desarrollo de recubrimientos y películas específicas para cada alimento (Quintero *et al.*, 2010).

Pueden crearse películas adaptadas a una diversidad de aplicaciones alterando las cantidades relativas de estos elementos en las composiciones. En la fabricación de productos alimentarios y farmacéuticos, se han usado diversas películas comestibles para proporcionar recubrimientos protectores, barreras internas y otros aspectos estructurales requeridos en aplicaciones particulares (Lazard *et al.*, 1998).

Las películas comestibles han sido desarrolladas con el fin de extender la vida útil de los productos alimenticios o enriquecerlos. Su formulación está basada en la presencia de polisacáridos, proteínas y lípidos. Estas películas deben estar totalmente neutras con respecto al color, tacto y olor del alimento. También pueden usarse como portadoras de agentes antimicrobianos, antioxidantes o nutrientes tales como vitaminas y minerales (Famá *et al.*, 2003).

El utilizar quitosano para la elaboración de películas comestibles es una alternativa excelente en la industria de los alimentos, ya que presenta buenas propiedades mecánicas y de barrera al paso de vapor de agua y gases, las cuales se pueden mejorar si se añaden plastificantes. El uso de películas y cubiertas de quitosano en vegetales constituye un método alternativo para su conservación y contribuye, además, a minimizar la contaminación ambiental debida a los desechos generados por el empleo de envases no biodegradables y el vertimiento a los mares de los desechos de la industria de mariscos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Investigar el efecto de la concentración de glicerol, sorbitol y xilitol, sobre las características físicas, de permeabilidad al vapor de agua y sensoriales sobre las películas elaboradas con quitosano.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Formular películas utilizando 3, 5 y 7 % de xilitol y sorbitol, y de 10, 15 y 20% de glicerol, manteniendo constante la concentración de ácido láctico y de quitosano utilizado.
2. Caracterizar las películas formuladas analizando color, porcentaje de humedad, porcentaje de solubilidad, grosor y permeabilidad al vapor de agua a 75, 85 y 100% de humedad relativa de cada formulación.
3. Evaluar sensorialmente las formulaciones.

1.2 Hipótesis

El tipo y la concentración de plastificante utilizado para elaborar una película comestible a base de quitosano influye en las características de las películas obtenidas.

1.3 Justificación

El quitosano es un polisacárido que se obtiene del exoesqueleto de crustáceos mediante la desacetilación parcial de la quitina (Bautista *et al.*, 2005).

La importancia de este biopolímero está en sus propiedades antimicrobianas en conjunto con sus propiedades para formar películas. Dentro de sus características se conoce que es hidrofílico, biocompatible, biodegradable y que es el principal componente estructural del cangrejo y cáscara de camarón. El quitosano tiene muchas propiedades específicas tales como la actividad antimicrobiana, entre otras (Alfonso, 2011).

Recientemente ha aumentado el interés por el uso del quitosano y sus derivados en diversas áreas tales como las ciencias de los alimentos, la purificación del agua, la industria de pulpa y papel, farmacia y la medicina (Alfonso, 2011).

Los recubrimientos y películas de quitosano que se han investigado tienen propiedades muy diferentes entre los variados experimentos realizados alrededor del mundo. De estas películas se hacen evaluaciones de quiebre, elongación, opacidad y un gran número de diferentes características que pueden verse en un polímero.

El quitosano es un compuesto que presenta características biofuncionales, por lo que podría ser una alternativa viable para sustituir los métodos de control de microorganismos tradicionales además, puede utilizarse sin problemas para elaborar recubrimientos comestibles (Aguilar 2005).

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de los envases

Los envases juegan un papel fundamental en la industria de los alimentos ya que realizan importantes funciones como las de contener, proteger, manipular, distribuir y presentar mercancías, desde materias primas hasta artículos acabados. Entre estas funciones destaca la acción protectora de los envases, ya que contribuyen al retraso del deterioro, aumentan la vida útil y mantienen la calidad y seguridad de los alimentos envasados.

En la actualidad debido al crecimiento de la producción sustentable se busca que los materiales con los que se fabrican los envases tengan el menor impacto posible sobre el medio ambiente. Como respuesta a esta necesidad surgieron los materiales biodegradables, una alternativa válida a la utilización de los plásticos tradicionales que se obtienen a partir del petróleo y que requieren de un tiempo de 200 años aproximadamente para ser asimilados nuevamente por la naturaleza (Parzanese, 2014).

2.1.1 Envases biodegradables comestibles: películas y recubrimientos

Se conocen como plásticos biodegradables a aquellos materiales que cuando son expuestos a condiciones determinadas de humedad, flora microbiana y oxígeno durante un tiempo de varios meses, son transformados en sustancias sencillas, principalmente agua y dióxido de carbono (CO₂) y biomasa mediante la acción enzimática de los microorganismos (bacterias, hongos y otros) presentes en el medio ambiente. Las unidades estructurales de los plásticos de este tipo de denominan polímeros biodegradables y se obtiene principalmente de materia primas renovables de origen animal, vegetal o microbiano, aunque también se generan sintéticamente a partir de derivados del petróleo. Dichos materiales biodegradables se utilizan actualmente en diversos sectores (medicina, agricultura, alimentación, envases y embalaje, entre otros) teniendo en cuenta

las características funcionales que se debe presentar el material según la aplicación específica a la que se destine (Parzanese, 2014).

El consumidor exige cada vez más alimentos de la mejor calidad y de mayor vida de anaquel. Esto ha fomentado la investigación en el campo de películas comestibles y recubrimientos biodegradables. Algunos estudios sobre películas elaboradas a partir de proteínas, lípidos y polisacáridos han sido realizados con el propósito de determinar su efectividad como barreras (Aguilar, 2005).

El uso de recubrimientos para alimentos es una práctica antigua que se desarrolló para simular las cubiertas naturales de los productos vegetales comestibles. Desde mediados de la década de 1950 hasta mediados de la década de 1980 se realizaron muchas investigaciones sobre el uso de películas y recubrimientos para extender la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados (García, 2008).

El desarrollo de películas comestibles y revestimientos o recubrimientos biodegradables, ha recibido mayor atención porque guía o conduce a la extensión de la vida de anaquel de los alimentos. El objetivo es producir cubiertas naturales a base de biopolímeros, con propiedades específicas (Fig. 1), las cuales pueden ser consumidas con el alimento (Aguilar, 2005).

La elaboración de este tipo de materiales representa una vía mediante la cual se pueden incorporar aditivos al alimento, con la finalidad de alargar su conservación y/o sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas (Aguilar, 2005).

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

El quitosano es un compuesto que presenta características biofuncionales, por lo que podría ser una alternativa viable para sustituir los métodos de control

de microorganismos tradicionales además, puede utilizarse sin problemas para elaborar recubrimientos comestibles (Ramos *et al.*, 2010).

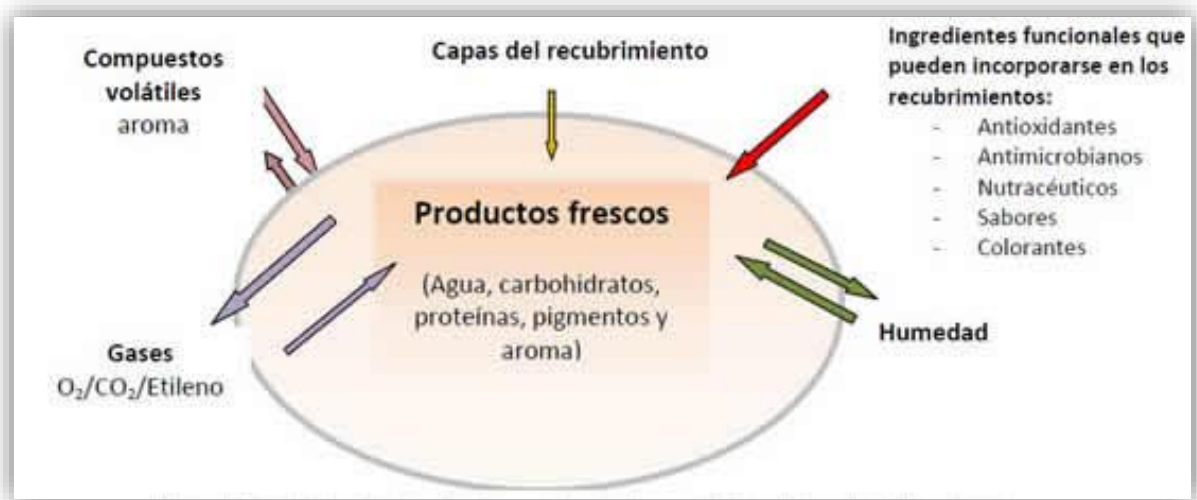


Fig. 1. Propiedades funcionales de un recubrimiento comestible (Falguera *et al.*, 2011)

2.2 Generalidades sobre películas y cubiertas comestibles

2.2.1 Películas y cubiertas comestibles

Las películas comestibles se han utilizado durante cientos de años. Las tripas de los embutidos son un ejemplo. La más antigua y común de las películas comestibles es la cera. Se han desarrollado nuevas películas comestibles que protegen los alimentos más tiempo (Potter y Hotchkiss, 2007). Con frecuencia los términos película, recubrimiento o cubierta, se emplean como sinónimos, pero esto se diferencia entre sí, ya que una cubierta comestible, es definida generalmente como una capa delgada formada sobre el alimento y aplicada en forma líquida sobre el mismo por inmersión, espuma, aspersion, goteo o con una brocha, y son una parte integral del producto alimenticio; mientras que una película comestible es una capa preformada sólida que luego es colocada sobre o entre los componentes de un alimento mejorando la calidad del mismo (García, 2008).

Las películas y cubiertas comestibles sirven de barrera a la humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aromas, lípidos, entre otros; suministran varios materiales al alimento, los cuales pueden mejorar sus propiedades mecánica, protectoras, sensoriales o nutricionales durante su comercialización. Las películas comestibles pueden ser definidas por dos principios: primero, comestible implica que debe ser segura su ingestión o que el material usado para su elaboración sea una sustancia reconocida como segura; y seguro, debe estar compuesta por un material que forme una película, típicamente un polímero (García, 2008).

Entre las propiedades físicas más importantes para las películas y cubiertas comestibles se encuentran:

- Color
- Opacidad aparente
- Transparencia
- Solubilidad
- Permeabilidad al vapor de agua
- Permeabilidad de gases
- Otras relacionadas con la resistencia mecánica como elongación y punto de quiebre.

2.2.2 Función de las películas

Las películas comestibles no están diseñadas con la finalidad de reemplazar los materiales de empaques sintéticos ni a las películas no comestibles, dicen que la importancia de las películas comestibles recae en la capacidad de actuar como un conjunto para mejorar la calidad del alimento en general, extender el tiempo de vida de anaquel y mejorar la eficiencia económica de los materiales para empaquetamiento. En muchas aplicaciones de alimentos, la función más importante de las películas comestibles es la reducción de la

perdida de humedad, debido a que se deben de mantener ciertos niveles de aw ya que es un factor de suma importancia en la calidad y seguridad del alimento (Yu, 2004). En el cuadro 1 se mencionan algunas de las funciones que desempeñan las películas comestibles aplicadas a algunos alimentos.

Cuadro 1. Funciones de las películas comestibles

Reducir la pérdida de humedad
Reducir el transporte de gases (CO₂ y O₂)
Reducir la migración de aceites y grasas
Reducir el transporte de solutos
Mejorar la propiedades mecánicas y de manejo de los alimentos
Proveer integridad estructural a los alimentos
Retener los componentes volátiles
Contener aditivos

Fuente: Kester y Fennema, 1986

2.2.3 Requerimientos y ventajas del uso de películas comestibles

A las películas comestibles en la mayoría de los casos se les llama aditivos ya que no proveen un valor nutricional significativo al alimento, por otro lado, si de alguna forma incrementan el valor nutricional del alimento pueden ser calificados como ingredientes.

Debido a que las películas son tanto componentes del alimento como empaques del mismo deben reunir los requisitos siguientes (Yu, 2004)).

- Buenas cualidades sensoriales
- Alta eficiencia mecánica y de barrera
- Estabilidad bioquímica, fisicoquímica y microbiana
- Deben estar libres de tóxicos
- Seguros para la salud

- De tecnología simple
- No deben tener contaminantes
- De bajo costo tanto de materiales como en los procesos

Algunas de las ventajas de utilizar películas comestibles:

- Pueden ser ingeridas por el consumidor
- Su costo es generalmente bajo
- Su uso reduce los desechos y la contaminación ambiental
- Pueden mejorar las propiedades organolépticas, mecánicas y nutricionales de los alimentos.
- Proporcionan protección individual a pequeñas piezas o porciones de alimento.

Pueden ser usadas en alimentos heterogéneos como barrera entre los componentes (Yu, 2004).

2.2.4 Usos de películas y recubrimientos comestibles

Actualmente el uso de películas comestibles se ha extendido a muchos alimentos: productos cárnicos, pescados y carne aviar tanto frescos como congelados, frutas y hortalizas enteras o en trozos, quesos, platos preparados entre otros. Esto se debe al desarrollo de formulaciones innovadoras respecto a los biopolímeros utilizados para su composición. Según el tipo de biopolímeros (proteínas, polisacáridos, lípidos) que componga la película comestible (PC) o recubrimiento comestible (RC) sus características y funciones serán diferentes, ya que están ligadas a la composición química y estructural del mencionado biopolímero. Dichas funciones están asociadas a la conservación de la calidad de los alimentos sobre los cuales se aplica y consisten principalmente en servir como barrera en la transferencia de distintas sustancias, desde el alimento hacia el exterior y viceversa (Parzanese, 2014).

Una funcionalidad importante de los recubrimientos y películas comestibles es su habilidad para incorporar ingredientes activos, ya que pueden servir como soporte de aditivos capaces de conservar y mejorar la calidad del producto. Así mismo se pueden utilizar como alternativa a la aplicación de antimicrobianos por el método de inmersión, técnica que provocaba difusión de los agentes antimicrobianos hacia el interior del producto causando pérdida de efectividad de dichos agentes por no alcanzarse la concentración mínima necesaria para la inhibición del desarrollo de microorganismos (Yu, 2004).

2.3 Componentes de las películas

Krochta *et al.*, (1994) clasifican a los componentes de las películas alimenticias en tres categorías: lípidos, hidrocoloides y mezclas. Los hidrocoloides incluyen proteínas, derivados de la celulosa, alginatos, pectinas, almidones y otros polisacáridos. Mencionan también que los lípidos incluyen a las ceras, acilgliceroles y ácidos grasos y las mezclas que contienen componentes lipídicos e hidrocoloides. Los autores mencionan que dependiendo del tipo de componente dependerán las propiedades de cada película (Yu, 2004).

2.3.1 Lípidos

Los recubrimientos a base de lípidos son muy eficientes para reducir la deshidratación de los productos debido a su baja polaridad presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua (Ramos *et al.*, 2010).

El recubrimiento con grasa de algunos productos tiene una larga historia en la industria de los alimentos. Una variedad de componentes lipídicos se han utilizado como cubiertas protectoras, incluyendo las ceras naturales y surfactantes. Debido a la baja polaridad de estas películas la función principal es la de barrera contra el paso de humedad. Las grasas también son utilizadas para el recubrimiento de confitería, pero una desventaja es que puede ocurrir la rancidez o la superficie se puede poner grasosa (Yu, 2004).

2.3.2 Mezclas o sistemas multicomponentes

Las películas comestibles deben ser heterogéneas por naturaleza. Se pueden hacer mezclas de polisacáridos, proteínas y/o lípidos. Al mezclar los componentes se tiene la habilidad de utilizar las distintas características funcionales para cada clase de formación de la película. Los sistemas multicomponentes son dos o más componentes que se mezclan con el propósito de complementarse y aumentar su capacidad. Las combinaciones que se hicieron primero fueron de materiales altamente poliméricos, ejemplos de ellos son: almidón con alginatos, gomas con almidón y pectinas con gelatinas (Parzanese, 2014).

2.3.3 Hidrocoloides

Estas películas poseen buenas propiedades de barrera para el oxígeno, dióxido de carbono y lípidos. Son utilizados donde el control de la migración de vapor de agua no es el objetivo. La mayoría de estas películas tienen propiedades mecánicas deseables para trabajar con productos frágiles, no aportan sabor y son sensibles al calentamiento. Los hidrocoloides usados para películas pueden ser clasificados de acuerdo a su composición molecular, carga molecular y solubilidad en agua (Pérez, 2012).

Producen un aumento elevado de la viscosidad y en algunos casos tienen efectos gelificantes ya que se disuelven y dispersan fácilmente en agua. En la industria de alimentos se le utiliza como aditivo con el fin de espesar, gelificar o estabilizar. Durante los últimos años se expandió el desarrollo de películas biodegradables utilizando hidrocoloides como materia prima, porque presentan excelentes propiedades mecánicas (Rodríguez, 2011).

2.3.4 Polisacáridos

Estas películas tienen propiedades como barrera a los gases y puede adherirse a superficies de frutas y vegetales. La desventaja al utilizar este tipo de películas es que las propiedades de barrera a la humedad son muy bajas debido a la naturaleza hidrofílica de las mismas. Se han elaborado películas a partir de

celulosa, pectina, almidón, alginatos, quitosano, carragenina, gomas y mezclas. Estas películas, la mayoría de la veces son mecánicamente fuertes, de color claro, resistentes relativamente al paso del agua, no se ven afectadas por aceites, grasas o solventes orgánicos no polares (Pérez, 2012).

2.3.4.1 Almidones

Su uso en la fabricación de películas y recubrimientos es muy conveniente, ya que son polímeros biodegradables, comestibles y sus fuentes son abundantes (maíz, trigo, papa, arroz, etc.) renovables y de bajo costo. Su principal función es servir como barrera al O₂ y a los lípidos, así como también mejorar la textura (Pérez, 2012).

2.3.4.2 Alginatos

Estas se obtienen de diferentes especies de algas principalmente de *Macrocystis pyrifera*. Presenta la propiedad de formar geles cuando se le adicionan iones calcio (Ca²⁺) los cuales se utilizan en la formulación de PC y RC. Sus aplicaciones son variadas, ya que poseen buenas propiedades de barrera frente al O₂ y lípidos, una de las más destacadas es en productos cárnicos frescos o congelados para evitar su deshidratación superficial (Pérez, 2012).

2.3.4.3 Pectinas

Corresponden a un grupo complejo de polisacáridos estructurales que están presentes en la mayoría de las plantas, principalmente en los cítricos. Para formar películas con este compuesto es necesario agregar una sal de calcio (cloruro de calcio) y plastificante. Debido a que son altamente permeables al agua su uso limita a mejorar el aspecto de algunos productos como frutas secas (Pérez, 2012).

2.3.4.4 Carragenanos

Se extraen de algas rojas como las especies *Chondrus* y *Gigarina*. Al igual que los alginatos requieren de la adición de sales de calcio para la formación de geles. Como resultado se obtienen películas transparentes, incoloras y de sabor

ligeramente salado. Estas son aplicadas principalmente para retardar la pérdida de humedad de algunos frutos (Parzanese, 2014).

2.3.4.5 Derivados de la celulosa

Los derivados de la celulosa son considerados buenos agentes formadores de películas debido a su estructura lineal. Generalmente las películas son sólidas y resistentes a los aceites y a la mayoría de los solventes orgánicos no polares. Se emplean para controlar la difusión de O₂ y CO₂, a fin de retrasar el proceso de maduración en frutas y vegetales (Pérez, 2012).

2.3.5 Proteína

Las películas de proteínas se adhieren fácilmente a superficies hidrofílicas pero en la mayoría de los casos no son resistentes a la difusión del agua. Las fuentes más comunes son: caseína, zeína, soya, albumina de huevo, lactoalbúmina, suero de leche, gluten de trigo y colágeno. Otra desventaja de las películas de proteínas es su sensibilidad a los cambios de pH por lo que deben delimitarse a las condiciones óptimas de su formación. Las películas de zeína actúan como barreras a la humedad, pueden restringir el transporte de O₂ y sirven como vehículos para los antioxidantes; las películas de gluten de trigo son buenas barreras al O₂ y al CO₂, sin embargo tiene alta permeabilidad al agua (Pérez, 2012).

2.3.5.1 Caseína

Los caseinatos son buenos formadores de películas emulsionadas por su naturaleza anfifílica, su estructura desordenada y su capacidad para formar puentes de hidrogeno. Las películas de caseinato presentan características favorables para uso en alimentos como transparencia y flexibilidad. Se han desarrollado cubiertas protectoras para bizcochos de chocolate, cubos de chocolate y donas a partir de caseinato de sodio, aceite de algodón, soja o maíz y un plastificante (Pérez, 2012).

2.3.5.2 Proteínas del suero lácteo

Se obtienen mediante el calentamiento de soluciones de 8-12%, el secado se realiza a temperatura ambiente. Dan como resultado películas de gran fragilidad, y necesitan plastificantes (Pérez, 2012).

Las películas basadas en proteínas del suero son excelentes barreras al O₂ aunque resultan ser muy frágiles. Como una solución a este inconveniente se detectó que sus propiedades mecánicas mejoran considerablemente mediante la adición de un agente plastificante como el glicerol. Para la fabricación de las películas y los recubrimientos se parte de un concentrado de proteínas al que se aplica calor para su desnaturalización. Tras su refrigeración se elimina el gas atrapado y se forma el material de envase (Parzanese, 2014)

2.3.5.3 Colágeno

Es el mayor constituyente de la piel, tendones y tejidos conectivos, y se encuentra extensamente distribuido en las proteínas fibrosas de los animales. Las películas comestibles obtenidas a partir de este se aplican desde hace tiempo en productos y derivados cárnicos, principalmente como recubrimiento de salchichas y otros embutidos. Los beneficios que presenta este tipo de recubrimiento son evitar la pérdida de humedad y dar un aspecto uniforme al producto mejorando sus propiedades estructurales (Parzanese, 2014).

2.3.5.4 Zeína

Es una prolamina y la principal proteína de reserva del maíz. Se caracteriza por ser un material relativamente hidrofóbico y termoplástico por lo cual forman películas fuertes, con brillo, resistentes al ataque microbiano, insolubles en agua; con propiedades antioxidantes y capacidad de adhesión (Pérez, 2012).

2.4 Formación y aplicación de las películas comestibles

Para que las películas comestibles resulten eficientes respecto a la conservación y empaque del alimento es esencial que su proceso de fabricación

y posterior aplicación se lleve a cabo de manera correcta. Si bien existen varias técnicas tanto para la obtención como para la aplicación de aquellos, cada una de ellas deben respetar o cumplir con cinco etapas principales (Parzanese, 2014).

- ✚ Formulación y obtención de los recubrimientos mediante la técnica adecuada (eliminación del solvente, solidificación de la mezcla, gelificación, extrusión, coacervación)
- ✚ Aplicación de la matriz comestible sobre la superficie del producto.
- ✚ Adhesión del material que compone la película o recubrimiento a la superficie del alimento.
- ✚ Formación de la RC sobre la matriz alimenticia, cuando se trata de PC por ser premoldeadas ya están constituidas cuando se aplican al producto.
- ✚ Estabilización de las capas continuas del RC o de la PC mediante secado, calentamiento, enfriamiento o coagulación, lo cual depende tanto de la técnica para la aplicación elegida como de la formulación de la película o recubrimiento.

Cuando un polímero está siendo aplicado a una superficie o matriz, existen dos fuerzas operando: cohesión y adhesión. El grado de cohesión afecta las propiedades de la película así como la densidad, la porosidad, permeabilidad, flexibilidad y fragilidad de la película. Cuando las películas proteicas se exponen a un calor excesivo se afecta la cohesión: ya que las moléculas son inmovilizadas prematuramente provocando defectos como perforaciones y fractura prematura de la película. Las soluciones de concentración intermedia generalmente resultaran en el incremento de la fuerza cohesiva debido a la viscosidad óptima y solvatación del polímero (Yu, 2004).

2.4.1 Influencia de la técnica de la preparación en las interacciones entre las sustancias hidrofóbicas y los agentes formadores de películas

Son varias las interacciones que se pueden establecer para generar una película comestible:

- Reacción química (desnaturalización de proteínas por ácidos grasos).
- Dispersión de sustancias hidrofóbicas en la técnica de emulsificación.
- Recubrimiento sobre un soporte emulsificado.
- Adsorción sobre un soporte más o menos poroso.

Encontrándose que las diferencias en eficiencia contra la transferencia de agua guarda relación con las técnicas de preparación utilizadas y que entre los factores que se parece son importantes de considerar están la diferencia de polaridad entre el soporte y las sustancias hidrofóbicas en la técnica de emulsificación, ya que si la diferencia es muy grande esto no permitirá la obtención de una emulsión estable y después del secado la distribución no homogénea de las sustancias hidrofóbicas limitaría la eficiencia de la transferencia al vapor de agua; en el caso de películas obtenidas por la laminación o inmersión de soportes es posible obtener capas continuas de sustancias hidrofóbicas solidas con alta eficiencia contra la transferencia del vapor de agua y el factor a considerar sería la estructura del soporte dado que esto no modifica la eficiencia de las sustancias hidrofóbicas para el transporte del agua (Bósquez, 2003).

2.4.2 Aditivos

Varios materiales pueden ser incorporados dentro de las películas comestibles y tener influencia en las propiedades mecánicas, protectoras y sensoriales. También para incrementar las propiedades organolépticas o nutricionales en el alimento se pueden incorporar agentes saborizantes, pigmentos o aditivos nutricionales en las películas comestibles o cubiertas (Pérez, 2012).

Los aditivos pueden ser:

- a) Plastificantes (ceras, aceites y ácidos grasos).
- b) Conservadores químicos (ácido benzoico, ácido sórbico, entre otros)
- c) Surfactantes y emulsificantes (grasas y aceites).

La influencia que tendrá el aditivo en las propiedades de la película dependerá en el grado de concentración, en la estructura química, en el grado de dispersión en las películas y en la interacción con los polímeros (Pérez, 2012).

2.4.3 Plastificantes

Un plastificante es definido como una sustancia estable, no volátil y con alto punto de ebullición, cuando es adicionado a otro material, cambia las propiedades físicas y/o mecánicas de ese material (Aguilar, 2005).

Generalmente, en la composición de las películas comestibles, se usa un plastificante a fin de disminuir la atracción intermolecular entre cadenas poliméricas aumentando la flexibilidad de la película y favoreciendo su maleabilidad y adherencia al producto. El glicerol y el sorbitol son dos ejemplos de plastificantes utilizados frecuentemente en dichas películas (Famá, *et al.*, 2004).

La adición de un plastificante permite la obtención de una película menos frágil, más flexible, más dócil y eventualmente más dura y resistente. La incorporación de estos compuestos conlleva a disminuir las fuerzas intermoleculares a lo largo de las cadenas poliméricas, lo cual mejora la movilidad molecular de los componentes. Se cree que los grupos polares (-OH), a lo largo de las cadenas del plastificante, remplazando así las interacciones polímero-polímero. El tamaño molecular, la configuración y el número total de los grupos hidroxilo funcionales del plastificante pueden afectar las interacciones entre el plastificante y el polímero (Famá, *et al.*, 2004).

Con excepción del agua, que puede ser considerada como el plastificante natural en la mayoría de películas a base de hidrocoloides, los plastificantes más

usuales son los polioles y los mono-, di- y oligosacáridos. Entre los polioles más utilizados están el glicerol, propilenglicol, sorbitol, polietilenglicol 200 y polietilenglicol 400 (Aguilar, 2005).

Los plastificantes deben ser compatibles con el polímero, permanentes en el sistema y eficientes en conseguir las propiedades deseables de la película. Estos compuestos son comúnmente adicionados a concentraciones de 10-60 g/100 g sólidos secos, dependiendo de la rigidez del polímero. Una de las propiedades que más se ve afectada por la incorporación de plastificante en soluciones formadoras de películas, es la permeabilidad a los gases. Se han observado incrementos en las permeabilidades al vapor de agua, O₂ y CO₂ de películas a base de polisacáridos y proteínas, a medida que la concentración de plastificante aumenta (Aguilar, 2005).

Como ya se ha mencionado, la eficiencia del plastificante es un parámetro importante, ya que de esta depende la obtención de características deseables en las películas. Se han realizado algunos estudios con la finalidad de comparar y determinar la eficiencia de varios plastificantes, principalmente polioles. Mediante el análisis de las propiedades mecánicas y de barrera a gases se han establecido los mejores compuestos. Se ha reportado que el glicerol y el polietilenglicol 200 fueron los polioles más eficientes en cuanto a propiedades mecánicas de películas a base de proteína de suero. También se ha reportado que las mejores barreras al oxígeno en películas de proteína de suero, fueron obtenidas al plastificar con sacarosa y sorbitol. Además se menciona que el sorbitol disminuye de una manera más importante la permeabilidad a los gases en películas de proteína de suero y de almidón, en comparación con el glicerol (Aguilar, 2005).

2.4.3.1. Glicerol

El glicerol se caracteriza por tres grupos –OH y una estructura asimétrica; consecuentemente las interacciones con las cadenas polipeptídicas llegan a ser complejas, dando lugar a una red poco ordenada. Esto tiene su efecto en el comportamiento mecánico. Sin embargo, normalmente afecta negativamente en

los recubrimientos comestibles la permeabilidad al vapor de agua y a la resistencia al agua (Albacete *et al.*, 2014).

Si bien el uso de distintas concentraciones de glicerol dan matrices con distintas propiedades mecánicas, que pueden ser usadas para distintas funciones de acuerdo a la exigencia requerida, por su comportamiento general, en experimentos de películas con glicerol se han elegido la de menor concentración de glicerol, ya que con esta película se obtienen mejores permeabilidades al vapor de agua y resistencias a la tracción, consiguiendo aun un buen valor de elongación (Álvarez *et al.*, 2014).

2.4.3.2. Xilitol

El xilitol es un polialcohol de cinco carbonos, es un edulcorante no calórico que proporciona efectos benéficos a la salud y sirve como precursor de otros azúcares no convencionales. El xilitol tiene un amplio mercado a nivel mundial, por lo que actualmente se realizan investigaciones intensas sobre su producción (González *et al.*, 2011).

Varios estudios de investigación han mostrado que el xilitol añadido a una dieta cariogénica puede reducir la incidencia de caries en el hombre. Sin embargo, la incorporación de xilitol a productos de confitería y/o farmacéuticos como goma de mascar o comprimidos ha sido difícil debido a la forma física del xilitol cristalizado acuoso disponible (Duross, 1999).

También existen algunos estudios sobre el xilitol en películas comestibles donde se concluye que el xilitol, al reducir la formación de película adquirida, disminuye la colonización microbiana de los dientes, lo cual sumado a otras propiedades, convierten a este azúcar-alcohol en un recomendable agente preventivo de las enfermedades bucales dependientes de la placa bacteriana (Battellino *et al.*, 2003).

2.4.3.3 Sorbitol

Es un azúcar natural altamente empleado en la industria. Químicamente es un poliol que cuenta con seis carbonos y seis grupos hidroxilo. El sorbitol es un azúcar cristalino con un poder endulzante 50% menor que la sacarosa (Rosero, 2011).

La adición de sorbitol a una película comestible aumenta su porcentaje de elongación. Pero por lo contrario a la adición del glicerol es directamente proporcional a su capacidad de extensión (Brandao, 2012).

Un plastificante es un factor muy importante en la formulación de las películas comestibles ya que afectan las propiedades mecánicas y la permeabilidad de las películas. Los plastificantes alteran la estructura de las películas, la movilidad de la cadena y los coeficientes de difusión de gases o agua. Los plastificantes son compuestos de baja volatilidad que pueden ser añadidos para impartir flexibilidad a una película polimérica (Yu, 2004).

Los plastificantes que se utilizan en la industria de los alimentos incluyen:

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

2.5 Propiedades mecánicas y de transporte

Las propiedades mecánicas en las películas comestibles tienen un gran impacto en la estabilidad y flexibilidad a cambios de temperatura, físicos y ambientales. Las propiedades mecánicas que mayormente se determinan son la fuerza y el porcentaje de elongación al quiebre, el cual representa la habilidad de la película de estirarse (Yu, 2004).

La permeabilidad de las películas abarca la transmisión de gas y vapor de agua así como la sorción de los mismos. Dice que la permeabilidad al vapor de

agua es dependiente de la polaridad relativa del polímero, mientras la permeación del gas tiende a ser proporcional a la fracción de volumen de la fase amorfa de la estructura de la película.

Al utilizar plastificantes en la formulación de las películas comestibles se tiene que considerar que se pueden afectar las propiedades mecánicas y la permeabilidad de las mismas, debido a que se altera la estructura, la movilidad de la cadena y los coeficientes de difusión de gas o coeficientes de difusión de agua (Yu, 2004).

2.6 Películas de quitosano

2.6.1 Generalidades de la quitina y el quitosano

La quitina fue reportada por primera vez en 1811 por el profesor Henri Braconnot en hongos. En 1830 se aisló en insectos y se dio el nombre de quitina. El descubrimiento del quitosano en 1859 por C Rouget supuso el inicio de una investigación intensiva sobre estos compuestos. La quitina es un polímero de la N-acetilglucosamina y residuos de glucosamina que se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza de la forma que constituye el segundo polímero más abundante después de la celulosa (Yu, 2004).

Por otro lado, el quitosano es la forma N-desacetilada de la quitina que se obtiene tras sustituir los grupos acetamido por grupos amino. Forma parte de la pared corporal de la mayoría de los hongos, levaduras y mohos. Se biodegrada en el hombre por la acción de la lisozima (Yu, 2004).

Este polisacárido de alto peso molecular, normalmente obtenido por desacetilación alcalina de la quitina y proveniente de crustáceos, es ampliamente utilizado como recubrimiento comestible. Las películas comestibles elaboradas a partir de quitosano son efectivas en prolongar la vida útil y mejorar la calidad de los alimentos, por retraso de la maduración, regulación de la tasa respiratoria, reducción de la deshidratación, descenso en las pérdidas de transpiración, modificando la atmosfera interna, entre otros (Martin-Belloso *et al.*, 2004).

Las soluciones viscosas de quitosano pueden emplearse para la elaboración de películas al dejar evaporar el solvente. De esta forma se pueden obtener películas individuales o bien recubrimientos sobre los productos en los que se deje evaporar las soluciones (Valenzuela *et al.*, 2014).

Las películas de quitosano son biodegradables, biocompatibles, delgados, flexibles, duraderas, fuertes, resistentes y difíciles de romper, tienen valores moderados de permeabilidad al agua y son buena barrera para la permeabilidad del oxígeno, disminuyen la velocidad de respiración de los alimentos en donde se prueban, retrasan el proceso de maduración de los vegetales debido a la reducción de etileno y dióxido de carbono, y además inhiben el desarrollo de microorganismo (Martínez, 2009).

2.6.2 Grado de acetilación

El quitosano es el derivado parcialmente desacetilado de la quitina. Consiste en unidades de N-acetil-D-glucosamina y D-glucosamina distribuidas de manera aleatoria a lo largo de la cadena polimérica. Las quitinas típicas tienen generalmente un grado de acetilación entre 70-95% mientras que los quitosanos tienen un grado de acetilación entre 15-25%. El grado de acetilación es uno de los parámetros más importantes de estos polisacáridos pues determinan sus características funcionales y fisiológicas (Calatayud *et al.*, 2014)

2.6.3 Peso molecular y viscosidad del quitosano

El quitosano exhibe una amplia gama de viscosidades en los medios ácidos diluidos que dependen principalmente de su peso molecular, el cual es más reducido en comparación a la quitina. Además, debido a su alta viscosidad, que se asemeja a la de las gomas naturales, el quitosano puede emplearse como espesante, estabilizante o agente de dispersión (Nieto y Orellana, 2011).

2.6.4 Solubilidad

La solubilidad y la viscosidad del quitosano dependen del grado de desacetilación y degradación del polímero, factores que determinan con qué tipo de sustancias o soluciones, se podrá asociar, el quitosano no es soluble a pH >

6.0 y funciona solamente en sistemas ácidos, siendo una propiedad relevante para su aplicación en alimentos. Debido a la alta densidad de cargas positivas el quitosano se comporta en soluciones acidas acuosas como una molécula policatiónica (Nieto y Orellana, 2011).

2.6.5 Obtención del quitosano

Para el proceso de obtención del quitosano, consiste en una serie de lavados alcalinos o ácidos con suficiente agua. Existen dos factores principales que determinan la calidad del quitosano: el grado de desacetilación, el cual está determinado por el número de pasos involucrados en la hidrólisis. La primera hidrólisis proporciona una desacetilación cerca del 80%, la segunda cerca del 95% y una tercera cerca del 98%. Entre mayor es la desacetilación mejor es la calidad. El segundo factor es la viscosidad estándar. La cual refleja el peso molecular. En la figura 2 se muestra la obtención del quitosano desde los residuos de crustáceos.

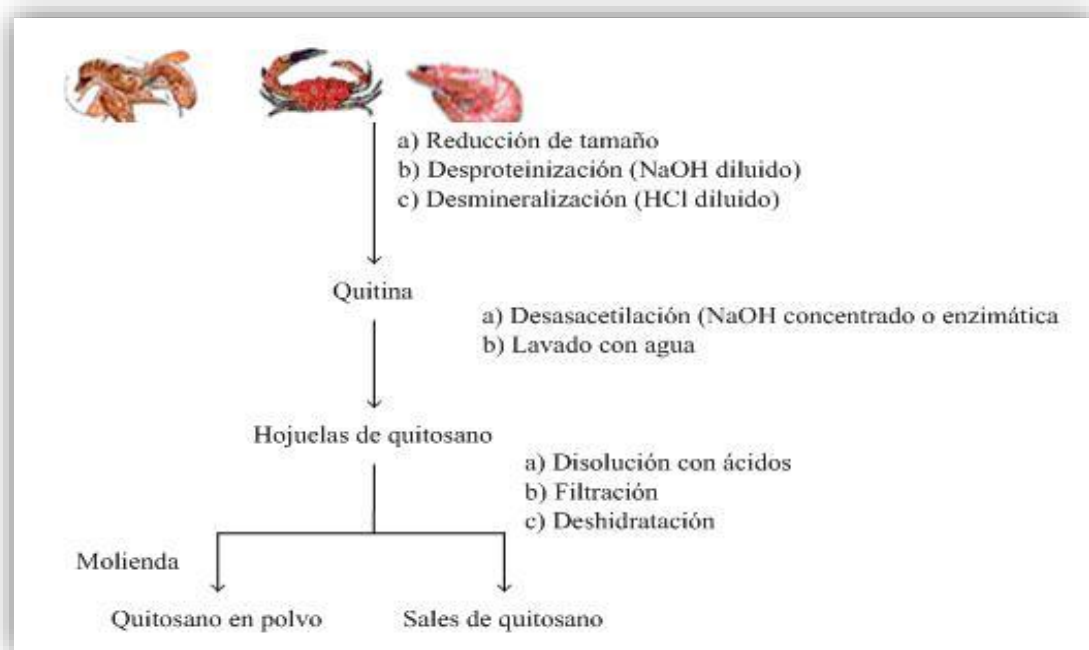


Fig. 2. Obtención del quitosano desde los residuos de crustáceos (Rozas, 2008)

2.6.5.1 Método químico

Este proceso suele emplear soluciones alcalinas (generalmente de NaOH o KOH) muy concentradas y tratamiento térmico a alta temperatura (60°C o más). Estas severas condiciones de reacción se deben a la baja reactividad de la quitina, ocasionada por la configuración trans de los grupos acetoamina respecto al grupo hidroxilo del carbono 3 del anillo piranósico del monómero; la presencia de puentes de hidrogeno entre los grupos carbonilo y amida de las cadenas adyacentes del monómero; y a la compactación de las cadenas en la estructura cristalina de la quitina que dificultan el acceso del álcali a los sitios reactivos de la molécula. La desacetilación completa difícilmente se alcanza y tampoco se necesita, puesto que la solubilidad en soluciones de ácido diluido se logra con 60% de desacetilación.

De esta forma, el quitosano obtenido no es una unidad química única y definida, sino un conjunto de polisacáridos que varían entre sí en su composición (número y distribución de grupos amino) y tamaño molecular. Dichas variaciones se deben a las condiciones del proceso, las cuales a su vez cambiarán dependiendo de la fuente de donde se haya extraído la quitina (Martínez, 2009).

2.6.5.2 Método biológico

Se realiza mediante el uso de enzimas. La quitindeacetilasa es la enzima que cataliza la conversión de quitina a quitosano mediante la desacetilación de los residuos N-acetilglucosamina. Fue identificada y parcialmente purificada de extractos del hongo *Mucor rouxii* por Araki *et al.*, (1975). La enzima es una glicoproteína que se secreta tanto en la región periplásmica como en el medio de cultivo.

La efectividad de la enzima disminuye radicalmente (de 9.5 a 0.5% de efectividad) cuando se usa como sustrato quitina amorfa. Pero si se utiliza quitosano parcialmente desacetilado soluble en agua, la efectividad llega hasta 97%, lo que indica que es necesario un pretratamiento de la quitina cristalina, que

favorezca la accesibilidad de la enzima a los grupos acetamida de la molécula (Martínez, 2009).

2.7 Propiedades fisicoquímicas del quitosano

Las propiedades fisicoquímicas del quitosano afectan su funcionalidad y, además, varían dependiendo de la fuente y método de obtención de la quitina, del método y condiciones de desacetilación de la misma, así como de los métodos y condiciones de determinación de las características fisicoquímicas, entre otros factores.

Las principales propiedades fisicoquímicas del quitosano son la solubilidad, viscosidad, peso molecular y grado de desacetilación, todas ellas estrechamente relacionadas (Martínez, 2009).

2.7.1 Propiedades biológicas del quitosano y sus películas

Debido a su composición y estructura química, entre otros factores, el quitosano es un polímero biocompatible y con diversas propiedades biológicas actualmente en estudio. Entre estas podemos mencionar su actividad antiviral, anticarcinogénica, repelente de insectos, formadora de tejidos y su actividad antimicrobiana (Martínez, 2009).

2.7.2 Aplicaciones de las películas de quitosano como empaque para alimentos

A pesar de la antigüedad del método de elaboración de películas de quitosano las investigaciones al respecto no se continuaron sino hasta mediados de los años 70's, cuando en 1977, Austin y Brince, usaron quitosano de cangrejo para elaborar fibras y películas. Esta pausa en las investigaciones sobre películas de quitosano, se debió principalmente al desarrollo de la industria de los plásticos.

Se ha analizado sobre bacterias como sobre hongos patógenos de alimentos la actividad antimicrobiana de las películas de quitosano encontrándose que dicha actividad está influenciada por el peso molecular y

grado de desacetilación del quitosano, la presencia de otros compuestos con actividad antimicrobiana en las películas, entre otros factores (Martínez, 2009).

Las películas de quitosano, ya sea en forma de empaques o como cubiertas, se han probado en diferentes alimentos con el objetivo de conservar sus cualidades sensoriales e higiénicas de calidad adecuada para el consumidor. Las películas con quitosano son resistentes, duraderos y flexibles con propiedades mecánicas similares a los polímeros comerciales; su uso en films comestibles puede favorecer la protección de la vida salvaje ya que aunque sean ingeridos por algunos animales pueden ser fácilmente degradados por enzimas existentes en el estómago de algunos de estos. También se emplean junto con otros elementos en recubrimientos para frutas, retrasando el envejecimiento, disminuyendo la oxidación, las pérdidas por transpiración y protegiendo frente al ataque de hongos (Nieto y Orellana, 2011).

Por sus propiedades como espesante, gelificante y emulsificante se utiliza como mejoradores de textura, también se emplean como estabilizantes del color, como agente que previene la precipitación en el vinagre, como aditivo con características nutricionales, como aditivo para la alimentación animal (Nieto y Orellana, 2011).

2.7.3 Perspectivas futuras en el uso del quitosano

El uso del quitosano ha tomado mayor relevancia como queda demostrado con el incremento del número de publicaciones a nivel mundial en este tema en los últimos años. Por otro lado, de las principales características del quitosano es su capacidad de inducir mecanismos de resistencia en el producto tratado, tema aún muy incipiente en el área de postcosecha y por último, evaluaciones del efecto sinérgico del quitosano con otros métodos naturales de control biológicos o físico-químicos serían de gran utilidad para proveer de otras alternativas de control de las enfermedades postcosecha (Bautista *et al.*, 2005).

2.8 Tecnologías para la aplicación de recubrimientos comestibles y películas comestibles

Actualmente se desarrollaron varios métodos para la correcta aplicación de las matrices comestibles sobre los alimentos. Las técnicas de inmersión o spray se utilizan para RC y el Casting para PC:

2.8.1 Inmersión

Consiste en la aplicación de las matrices comestibles sumergiendo el alimento en la solución filmogénica preparada. Se utiliza especialmente en aquellos alimentos cuya forma es irregular que requieren de una cobertura uniforme y gruesa. Es importante que el producto a tratar este previamente lavado y secado, y que una vez retirado de la solución se deje drenar el excedente de solución para lograr un recubrimiento uniforme (Parzanese, 2014).

2.8.2 Aspersión

Esta técnica se basa en la aplicación de la solución filmogénica presurizada. Permite obtener RC más finos y uniformes. Se usa en alimentos de superficie lisa o para la separación de componentes de distinta humedad de un alimento compuesto, por ejemplo en platos preparados como pizzas u otros (Parzanese, 2014).

2.8.3 Casting

Mediante esta técnica se obtienen películas o films premoldeados. Consiste básicamente en la obtención de una dispersión uniforme compuesta por biomoléculas (proteínas, polisacáridos, lípidos) plastificante y agua. Luego se vierte sobre una placa de material inocuo (acero inoxidable) donde se deja secar para que se forme el film o película. La velocidad de secado junto con la temperatura y humedad son condiciones determinantes para la calidad de la película (transparencia, consistencia y propiedades mecánicas), por lo tanto deben ser controladas correctamente. Una vez finalizado el secado se tiene una película de gran tamaño, el cual es fraccionado para ser aplicado sobre los alimentos a tratar (Parzanese, 2014).

2.8.4 Métodos de elaboración de películas

Las películas de quitosano pueden prepararse por simple evaporación de los solventes usados para su disolución, o bien, mediante la extrusión del polímero con otros materiales como polímeros termoplásticos con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas (Martínez, 2009).

2.8.4.1 Por evaporación de solventes

El método más antiguo y más recurrido para la obtención de películas de quitosano es la evaporación de solventes mejor conocido como "Casting". Este consiste en la disolución de quitosano en una solución acuosa diluida de ácido orgánico, la cual posteriormente se vierte sobre una superficie lisa. En un principio se trataba de una superficie de vidrio limpia y seca, ahora se pueden usar superficies de materiales plásticos inertes para que no reaccionen con el polímero u otros compuestos presentes en la solución. Una vez vaciadas, las soluciones se dejan evaporar hasta que se forma una película. Durante el secado de las soluciones de quitosano, la concentración del polímero disuelto aumenta, por lo que las moléculas deben alinearse y compactarse, resultando en la formación de un gel seguido por la formación de la película en sí. Al mismo tiempo que se está formando la película, la fuerza iónica aumenta provocando una mayor asociación entre el polieléctrolito y en contra ion del solvente, por lo que la naturaleza del solvente utilizado puede influir en las interacciones intra e intermoleculares que se presenten al momento de formar la película (Martínez, 2009).

Las cubiertas de quitosano pueden prepararse básicamente bajo el mismo principio de las películas por evaporación, sin embargo, las cubiertas se logran cuando los productos son sumergidos en una solución de polímero diluida y luego se dejan secar haciendo que el polímero quede sobre la superficie del producto (Martínez, 2009).

2.8.4.2 Por extrusión

Extrudir significa forzar o empujar un material a través de una pequeña abertura. Son diversos los materiales que se pueden someter a un proceso de extrusión desde metales y cerámicas hasta alimentos, pasando por los materiales poliméricos plásticos.

La extrusión es uno de los tratamientos más importantes de polímeros. Las películas comestibles o biodegradables que son extrudidas aumentan su valor comercial y presentan más ventajas que las elaboradas por evaporación.

Se probó un método por extrusión para elaborar filamentos de quitosano. Dicho proceso consistió en hacer pasar una solución de quitosano a través de un pequeño orificio en un baño coagulante, compuesto de acetato e hidróxido de sodio y detergentes en agua, y el cual fue calentado a 70°C para obtener los filamentos que luego fueron secados. Este método, sin embargo, no es el mismo que se utiliza actualmente, que emplea equipos especializados conocidos como extrusores, en los cuales el material es introducido constantemente a la tolva, mezclado mediante un tornillo y empujado a presión hacia un pequeño orificio de salida conocido como “dado”, que es donde se le da la forma que se desea del material extruido (Martínez, 2009).

2.9 Evaluación sensorial

La aceptación de los alimentos por los consumidores, está muy relacionada con la percepción sensorial de los mismos, y es común que existan alimentos altamente nutritivos, pero que no son aceptados por los consumidores. De aquí parte la importancia del proceso de evaluación sensorial en los alimentos, siendo ésta una técnica de medición importante como los métodos químicos, físicos y microbiológicos (Olivas *et al.*, 2009).

La evaluación sensorial es el análisis de los alimentos u otros materiales por medio de los sentidos. La palabra sensorial se deriva del latín *sensus*, que quiere decir sentido. Este tipo de análisis tiene la ventaja de que efectúa las

mediciones y lleva consigo sus propios instrumentos de análisis, es decir, sus cinco sentidos.

La realización de esta clase de pruebas debe tener en cuenta aspectos ambientales, prácticos y humanos, con el fin de evitar inferencias y lograr minimizar la subjetividad propia de este tipo de evaluación (Restrepo *et al.*, 2008).

2.9.1 Factores que influyen en la evaluación sensorial

De la gran variedad de factores que ejerce influencia sobre la evaluación sensorial debemos tomar en cuenta los siguientes grupos:

- ✚ Factores de personalidad o actitud, influyen en gran medida en experiencias sobre aceptación o preferencia de consumidores.
- ✚ Factores relacionados con la motivación: influye sobre los resultados al trabajar con concentraciones umbrales y supraumbrales.
- ✚ Errores psicológicos: se deben distinguir varios tipos de errores, como son las de tendencia central, de posición y de contraste. También deben considerarse la memoria, concentración y las instrucciones minuciosas, ya que pueden ser importantes.

2.9.2 Tipos de jueces

La selección y el entrenamiento de las personas que tomaran parte en pruebas de evaluación sensorial son factores de los que dependen en gran parte del éxito y validez de las pruebas. El número de jueces necesarios para que una prueba sensorial sea válida está en función del tipo de juez que vaya a ser empleado (Noriega, 2011).

Existen 4 tipos de jueces

2.9.2.1 Juez experto

El juez experto es , como en el caso de los catadores de vino, café, té, quesos y otros productos, una persona que tiene gran experiencia en probar un determinado tipo de alimento, posee una gran sensibilidad para recibir las

diferencias entre muestras y para distinguir y evaluar las características del alimento (Noriega, 2011).

2.9.2.2 Juez entrenado

Un juez entrenado es una persona que posee mucha habilidad para la detección de alguna propiedad sensorial, o algún sabor o textura en particular, que ha recibido cierta enseñanza teórica y práctica acerca de la evaluación sensorial, y que sabe que es exactamente qué es lo que desea medir en una prueba. Además suele realizar pruebas sensoriales periódicamente (Noriega, 2011).

2.9.2.3 Juez semientrenado

Se trata de personas que han recibido un entrenamiento teórico similar al de los jueces entrenados que realizan pruebas sensoriales con frecuencia y poseen suficiente habilidad, pero que generalmente solo participan en pruebas discriminativas sencillas, las cuales no requieren de una definición muy precisas en términos o escalas. Las pruebas con jueces semientrenados deben realizarse con un mínimo de 10 jueces y un máximo de 20 (Noriega, 2011).

2.9.2.4 Juez consumidor

Se trata de personas que no tienen que ver con las pruebas, ni trabajan con alimentos como investigadores o empleados de fábricas procesadoras de alimentos, ni han efectuado evaluaciones sensoriales periódicas. Por lo general son personas tomadas al azar, ya sea en la calle o en una tienda o escuela, etc., (Noriega, 2011).

2.9.3 Clasificación de las pruebas sensoriales

Existen varias clasificaciones de las pruebas sensoriales. La primera agrupa a las pruebas en dos tipos: I y II. La segunda agrupa a las pruebas sensoriales en 3 tipos, las discriminativas, descriptivas y las afectivas (Noriega, 2011).

2.9.3.1 Pruebas discriminativas

Las pruebas discriminativas son aquellas en las que no se requiere conocer la sensación subjetiva que produce un alimento a una persona, sino que desea establecer si hay diferencia o no entre dos o más muestras (Noriega, 2011).

2.9.3.2 Pruebas descriptivas

Son las que permiten describir, comparar y valorar las características de las muestras en función de unas categorías (patrones) definidos previamente (Noriega, 2011).

2.9.3.3 Pruebas afectivas

Estas pruebas evalúan la preferencia y/o aceptación y/u opiniones del producto, para este tipo de prueba se requiere un panel consumidor del producto o no entrenado (Nayive *et al.*, 2009).

Y dentro de estas pruebas se encuentra la prueba hedónica la cual se utiliza para evaluar la aceptación o rechazo de un producto determinado, y aunque su realización pueda parecer rutinaria el planteo es muy complejo y debe hacerse con rigor para obtener los datos significativos (Noriega, 2011).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

La parte experimental del presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de Alimentos I y en el Laboratorio de Evaluación Sensorial del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

3.4 Preparación de las formulaciones de quitosano

Para la preparación de las formulaciones a evaluar se utilizó como matriz soporte el quitosano y como plastificantes se emplearon glicerol, sorbitol y xilitol y el ácido láctico como agente . La elección de evaluar tres tipos de plastificantes fue para estudiar la estabilidad de las formulaciones formadoras de recubrimiento en función a la permeabilidad al vapor de agua y propiedades como el color, porcentaje de humedad, porcentaje de solubilidad y grosor, además de realizar el análisis sensorial.

La metodología de preparación de las formulaciones fue estandarizada y consistió en dispersar y disolver 1% de quitosano en medio acidificado con ácido láctico al 1% posteriormente se agregó el plastificante al 3, 5 Y 7 % (sorbitol o xilitol) y 10,15 y 20 % (glicerol), de acuerdo a la formulación en agua destilada a 60 °C con agitación constante (500 rpm). Las películas poliméricas se prepararon por el método de vaciado. Se prepararon una serie de mezclas variando la concentración de los plastificantes. Las formulaciones elaboradas se homogenizaron utilizando una placa de agitación/calentamiento (Talboys, Thorofare, New Jersey, USA) a 700 rpm (Fig. 3). Para preparar las películas, 20 mL de las formulaciones se vaciaron en cajas Petri (10 cm de diámetro) que reposaron en una superficie plana. Estas cajas se secaron a 50 °C en un horno con ventilación durante 10 h (Quincy Lab Inc., Chicago, Illinois, U.S.A.). Las películas secas se desprendieron de las placas de acrílico.

Cuadro 2. Reactivos empleados para la elaboración de las películas en estudio

Reactivos	Cantidad (%)
Quitosano	1
Glicerol	10, 15 y 20
Xilitol	3, 5 y 7
Sorbitol	3, 5 y 7
Ac. Láctico	1
Agua destilada	Cantidad necesaria para completar 100%



Fig. 3. Preparación de las películas

3.5 Propiedades físicas de las formulaciones

3.5.1 Medición del grosor

El grosor de las películas se determinó utilizando un micrómetro digital (Mitutoyo Manufacturing Co. Ltd., Tokio, Japan) (Fig. 4) al azar en cinco posiciones de la película y se calculó el promedio. Las muestras con burbujas de aire o fracturas fueron excluidas del análisis.



Fig. 4. Equipo utilizado para medición del grosor

3.5.2 Propiedades ópticas

Cada película fue cortada en rectángulos (1 cm X 3 cm) y colocada en una celda para espectrofotómetro, y las mediciones se realizaron utilizando aire como referencia (Fig. 5). La transmitancia de las películas fue escaneada de la longitud de onda de 400 a la 800 nm utilizando un espectrofotómetro Génesis 10 UV spectrophotometer (Thermo Electron Corporation, Madison, Wisconsin, USA). Las determinaciones se realizaron por duplicado y se calculó el promedio de las dos lecturas. La transparencia a 600 nm (T600) se obtuvo de la ecuación siguiente (1) (Han & Floros, 1997):

$$T600 = \log \%T/b \quad (1)$$

Donde %T es el porcentaje de transmitancia y b es el grosor de la película (mm).

La opacidad de las películas fue calculada siguiendo la fórmula siguiente (2) de acuerdo al método descrito por Gontard & Guilbert (1994):

$$\text{Opacidad} = \text{absorbancia a 500 nm (AU)} * \text{grosor de las películas (mm)} \quad (2)$$



Fig. 5. Medición de transmitancia

3.5.3 Medición de color

El color de las películas se evaluó utilizando un colorímetro (Minolta CR-400, Tokio, Japan) (Fig. 6). Se utilizó una placa de color blanco ($L=97.75$, $a=0.49$, $b=1.96$, supplied by Minolta Co.) para calibrar el aparato. El sistema proporciona los valores de tres componentes de color; L^* (componente negro-blanco, luminosidad) y coordenadas de cromaticidad, a^* (componente +rojo a -verde) y b^* (componente +amarillo a -azul). Las muestras se analizaron en 5 posiciones tomadas al azar.



Fig. 6. Medición del color

3.5.4 Contenido de humedad

El contenido de humedad (CH) de cada película se determinó de acuerdo al método reportado por Mei & Zhao (2003). Las películas se cortaron en cuadros de 2 cm x 2 cm. Las piezas se colocaron en recipientes de aluminio que previamente estaban a peso constante. Las películas y los recipientes de aluminio se ubicaron en un horno de laboratorio (Quincy Lab Inc., Chicago, Illinois, U.S.A.) a 100 °C durante 24 h (Fig. 7). Los pesos de las muestras se registraron antes y después del secado utilizando una balanza analítica (Adventurer Ohaus Corp., Pine Brook, New Jersey, U.S.A.) con una exactitud de 0.0001 g. La CH se determinó como porcentaje considerando el peso inicial de la película antes de la deshidratación y el peso de las películas después de la deshidratación (Ecuación 3). Se evaluaron dos repeticiones de cada película para obtener los valores de CH.

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



Fig. 7. Contenido de humedad

3.5.5 Solubilidad

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

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

3.5.6 Permeabilidad al vapor de agua

Se utilizó cloruro de calcio anhidro (CaCl_2 , aproximadamente 3.0 g) como desecante dentro de las celdas de permeabilidad donde se colocaron las películas (Fig. 8). La distancia entre la superficie del desecante y la película fue menos de 6 mm tal y como lo sugiere la ASTM E 96 (ASTM, 2001). El grosor de cada película se determinó con un micrómetro (Mitutoyo, Japan con una exactitud de 0.01 mm) en cinco puntos tomados al azar. Las celdas se ubicaron en desecadores a humedades relativas de 75 %, 85 % y 100% a 25 ± 1.5 ° C (Labuza *et al.*, 1985). El proceso de permeabilidad al vapor de agua se evaluó por peso durante 5 h. Cuando la relación entre el peso ganado (Δw) y el tiempo (Δt) es lineal, la pendiente se utiliza para calcular la velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR) y la permeabilidad al vapor de agua (WVP) (Arevalo *et al.*, 2010). La pendiente se obtiene de una regresión lineal de los pesos de las celdas con las películas. La velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR) se calculó de la pendiente ($\Delta w/\Delta t$) dividido por el área de prueba (A) ($\text{g (m}^2\text{)}^{-1} \text{ d}^{-1}$), con la Ecuación (5):

$$WVTR=(\Delta w/\Delta t)/A \quad (5)$$

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

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) se calcula con la Ecuación 6:

$$WVP=[WVTR*L/\Delta p] \quad (6)$$

Donde WVP es la permeabilidad al vapor de agua ($\text{g mm m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{kPa}^{-1}$), $WVTR$ es la velocidad de transmisión al vapor de agua ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$), L es el grosor de la película (mm) y Δp es la diferencia entre las presiones de vapor de agua en ambos lados de la película (kPa) (Arévalo *et al.*, 2010). Todas las formulaciones se evaluaron por triplicado.



Fig. 8. Celdas de permeabilidad con películas

3.5.7 Evaluación sensorial

Para la evaluación sensorial de las películas, se realizó con trece jueces semientrenados, donde se evaluó el color, sabor, pegajosidad y la aceptación global de las formulaciones en estudio. Se realizó una prueba hedónica con una escala de nueve puntos (Aguayo *et al.*, 2006).



Fig. 9 Evaluación de las películas

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se describen los resultados obtenidos en la investigación, descritos como en la metodología de acuerdo a los tres tipos y concentraciones de los plastificantes. El diseño experimental fue un diseño completamente al azar y los resultados obtenidos de las determinaciones se sometieron a un análisis de varianza utilizando un paquete estadístico JMP 5.0.1. Cuando el efecto del tratamiento fue significativo se empleó la prueba de comparación de Tukey HSD con un nivel de confianza del 95%, para identificar las diferencias significativas entre las medias individuales.

4.1 Propiedades de las formulaciones (glicerol, xilitol y sorbitol)

4.1.1 Factor L (glicerol, xilitol y sorbitol)

El parámetro L, el cual representa luminosidad, de la película formulada con glicerol al 15% presento una diferencia significativa ($P < 0.05$) (Fig. 10) con un valor promedio de 96.29 en comparación con las películas con glicerol al 10 y 20%. Estos datos también podemos verlos en los anexos 1, 2 y 3 conforme a los parámetros aquí descritos. Los valores promedio de L para las películas de 10 y 20% fueron de 93.95 y 94.03, respectivamente.

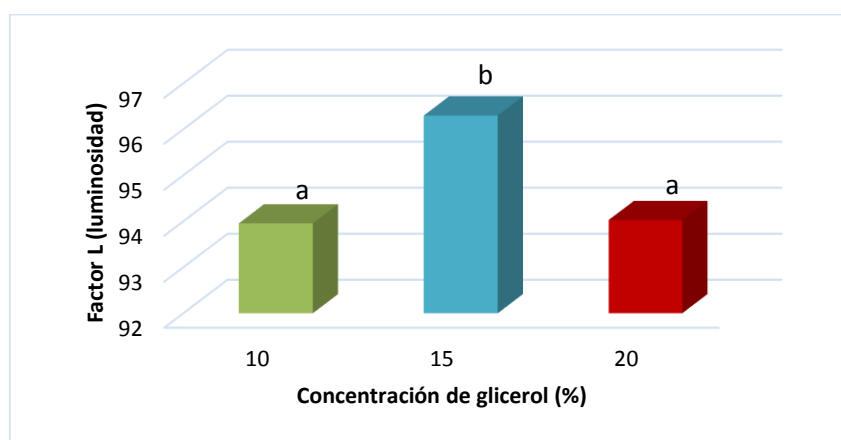


Fig. 10. Influencia de la concentración de glicerol sobre luminosidad

Las películas elaboradas con xilitol, como plastificante, mostraron valores de L entre 94.28 a 94.80 (Fig. 11). Dado el comportamiento no hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las concentraciones de xilitol utilizadas.

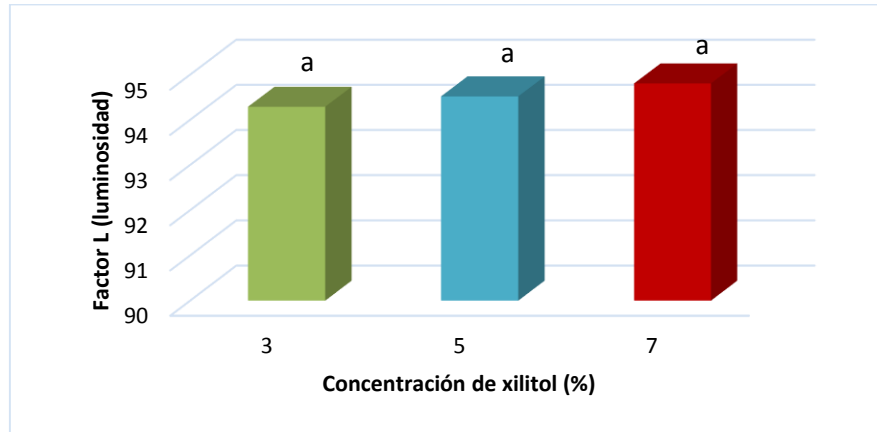


Fig. 11. Influencia de la concentración de xilitol sobre luminosidad

Las formulaciones con quitosano y sorbitol, mostraron valores del parámetro L entre 93.58 a 93.93 sin diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las tres concentraciones de sorbitol evaluadas (Fig. 12).

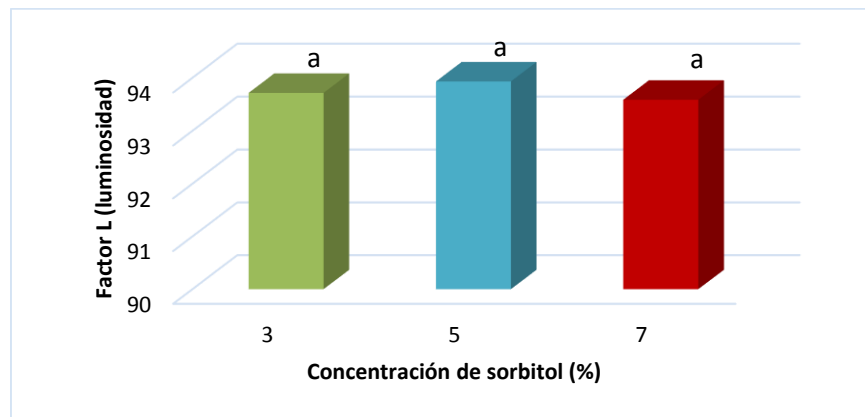


Fig. 12. Influencia de la concentración de sorbitol sobre luminosidad

Además que en otros estudios hechos por Zamudio (2008) se reportó que el quitosano ha presentado un valor L^* de 97.3 y esto indica una película transparente, así mismo las películas que se obtuvieron con los tres plastificantes

los datos resultantes fueron cercanos a 100, lo cual es favorable de acuerdo a la literatura citada, representando una película transparente. La luminosidad es de suma importancia ya que en algunos casos protege al producto de la luz y evita la rancidez, además el consumidor demanda una necesaria transparencia de las películas para observar la textura y los atributos de calidad (color) del producto (Zamudio, 2008).

4.1.2 Color factor *a

Para este parámetro, se obtuvieron valores negativos, esto quiere decir que las películas se inclinan más hacia el color verde según el círculo CIELAB, en cuanto a las películas con glicerol no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) (Fig.13) los valores de la coordenada a^* están entre -1.07 y -1.08. Podemos ver en los anexos 1, 2 y 3 en el parámetro correspondiente estos resultados obtenidos para cada plastificante.

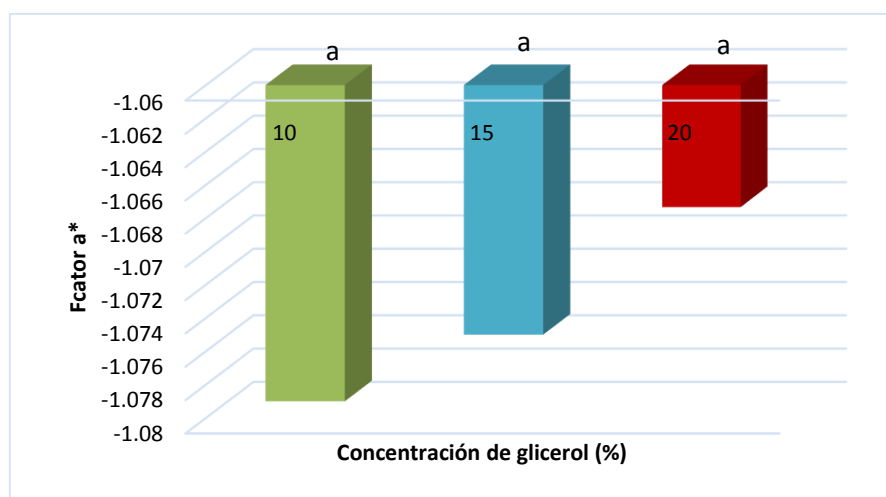


Fig. 13. Efecto de la concentración del nivel de glicerol sobre el factor a^*

En cuanto a las películas de quitosano plastificadas con xilitol no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$), los valores resultantes oscilaron entre -0.98 y -1.02.

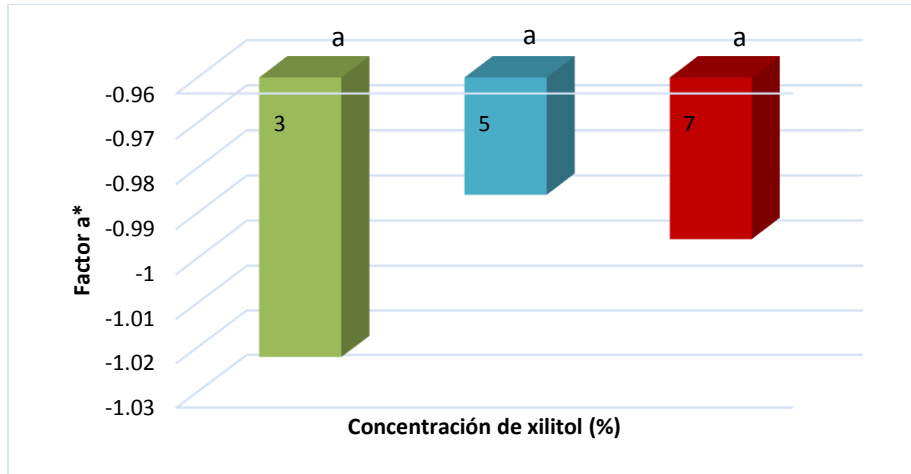


Fig. 14. Efecto de la concentración del nivel de xilitol sobre el factor a*

Las películas elaboradas con las tres concentraciones de sorbitol tampoco mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$) presentando valores entre -0.78 y -0.96 (Fig. 15).

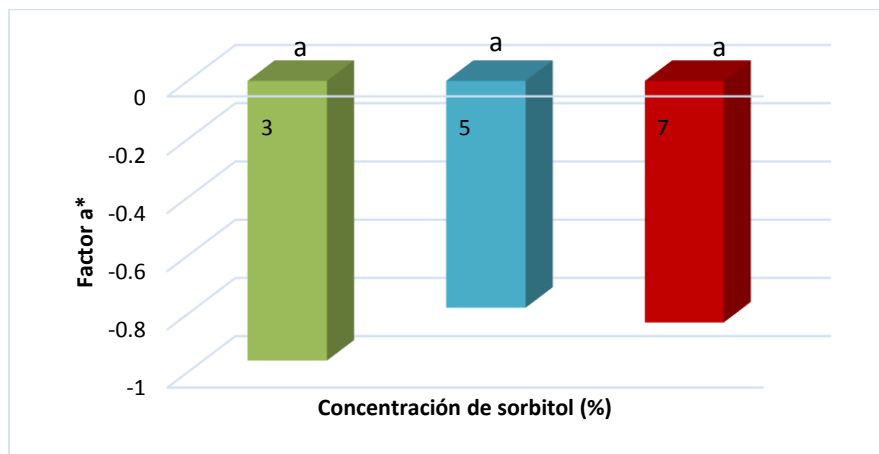


Fig. 15. Efecto de la concentración del nivel de sorbitol sobre el factor a*

En estudios realizados por Rao *et al.*, 2010 en películas con quitosano y goma guar, obtuvieron resultados en el color en cuanto al parámetro a^* , valores negativos lo cual también para estas películas sugerían un color verde, estos resultados coinciden con los datos que se obtuvieron para estas películas de quitosano plastificadas con glicerol, xilitol y sorbitol a base de quitosano ya que

los números resultantes fueron negativos inclinándose a un color verde según el círculo CIELAB.

4.1.3 Color factor b*

En este parámetro para las películas con quitosano plastificadas con glicerol (Fig. 15) mostraron valores entre 4.64 y 4.95 sin diferencia significativa ($P < 0.05$), entre las tres concentraciones de glicerol evaluadas. Lo cual también podemos ver estos resultados en los anexos 1, 2 y 3 en el parámetro b* de cada plastificante.

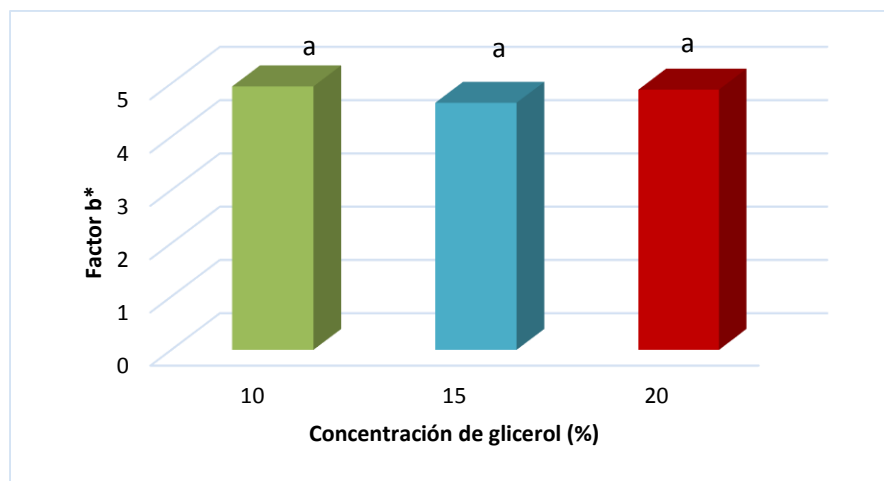


Fig. 16. Efecto de la concentración del nivel de glicerol sobre el factor b*

En cuanto a las películas con xilitol (Fig. 16) los resultados mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$) esta diferencia se dio para las tres concentraciones al 3% con valor de 4.47, al 5% con 4.66 y para el 7% con un valor de 4.87.

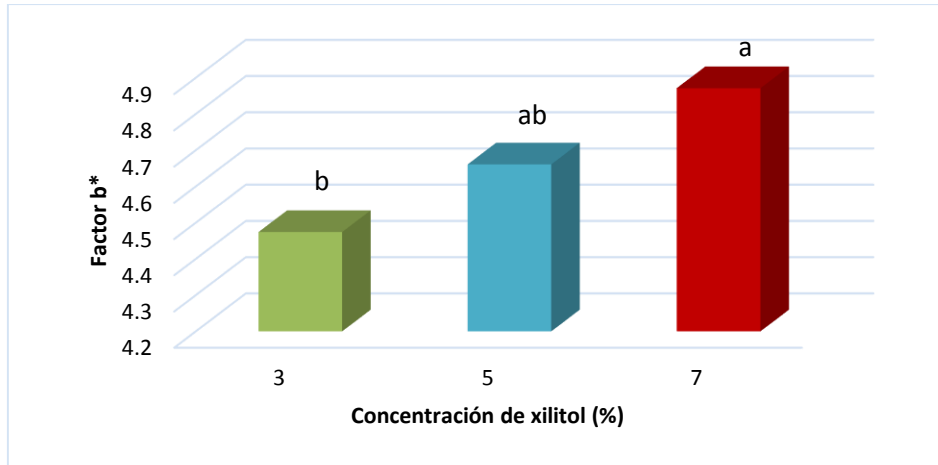


Fig. 17. Efecto de la concentración del nivel del xilitol sobre el factor b*

Para las películas con sorbitol (Fig. 18) los resultados mostraron que no hubo diferencia significativa entre las tres diferentes concentraciones ($P < 0.05$), los valores oscilaron entre 4.51 y 4.54.

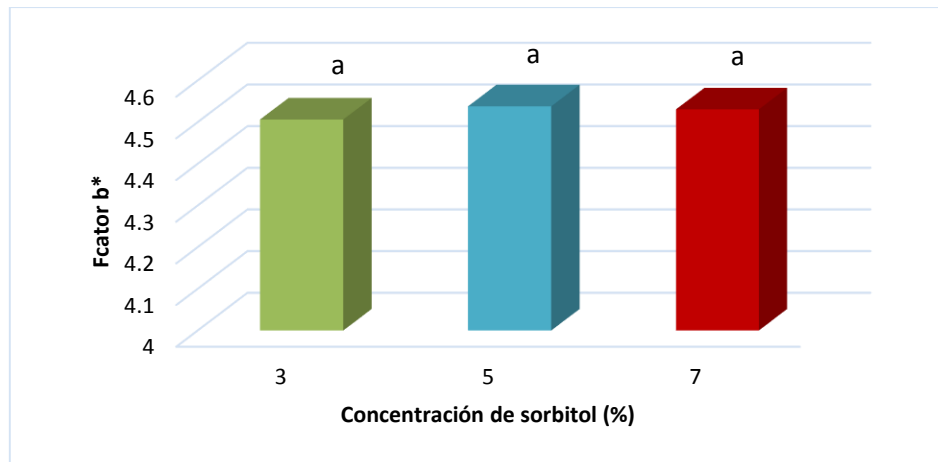


Fig. 18. Efecto de la concentración del nivel del sorbitol sobre el factor b*

En estudios realizados por Rao *et al.*, 2010 en películas comestibles con quitosano y goma guar observo que al aumentar la goma guar había una disminución significativa en los valores de b*, en comparación con las películas elaboradas a base de quitosano plastificadas con glicerol y sorbitol los valores de b* resultaron significativamente iguales, y para las películas con sorbitol hubo

diferencia significativa, pero al aumento de este plastificante también hubo un aumento en el valor de b^* , lo cual al obtener estos datos no concuerdan con los datos que obtuvieron Rao *et al.*, esto puede deberse al tipo de plastificante utilizado.

4.1.4 Grosor

En cuanto al grosor no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) para las películas con quitosano plastificadas con glicerol. El valor más alto para este parámetro lo expresaron las películas con el glicerol (Fig. 19) valores que oscilaron entre 0.077 a 0.082 mm. Los resultados de este parámetro para cada plastificante podemos verlos en los anexos 1, 2 y 3 correspondiente.

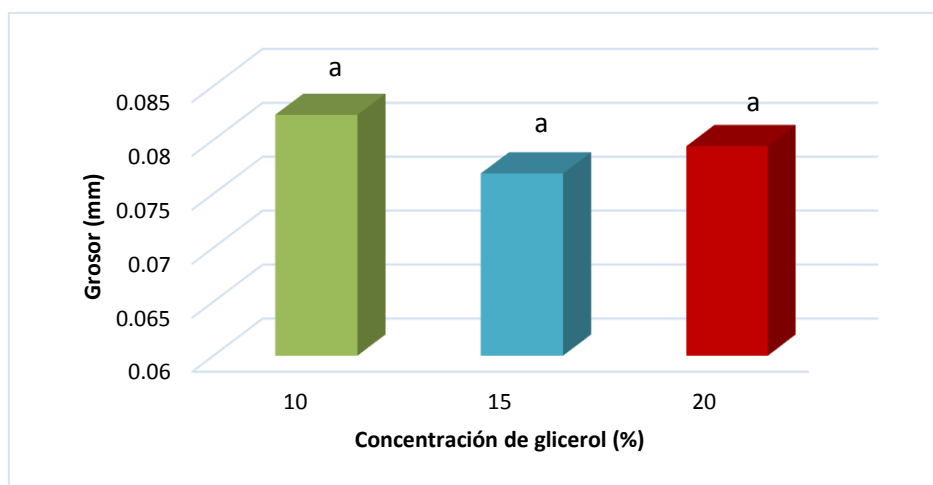


Fig. 19. Efecto de la concentración de glicerol (%) en el grosor de las películas de quitosano

Las películas elaboradas con tres concentraciones de xilitol tuvieron valores de grosor entre 0.070 a 0.075 mm y no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) (Fig. 20).

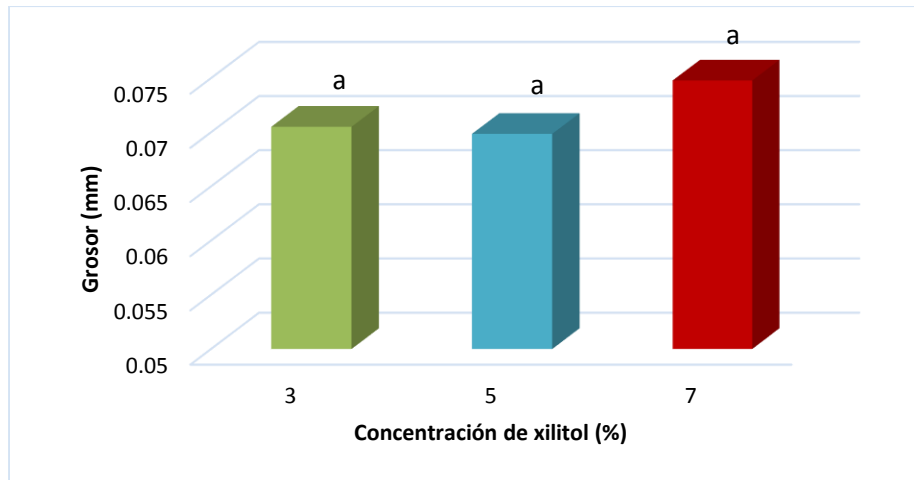


Fig. 20. Efecto de la concentración de xilitol (%) en el grosor de las películas de quitosano

Los valores de grosor de las películas formuladas con 3, 5 y 7% de sorbitol fueron de 0.071 a 0.074 mm sin presentar diferencia significativa ($P < 0.05$) (Fig. 21).

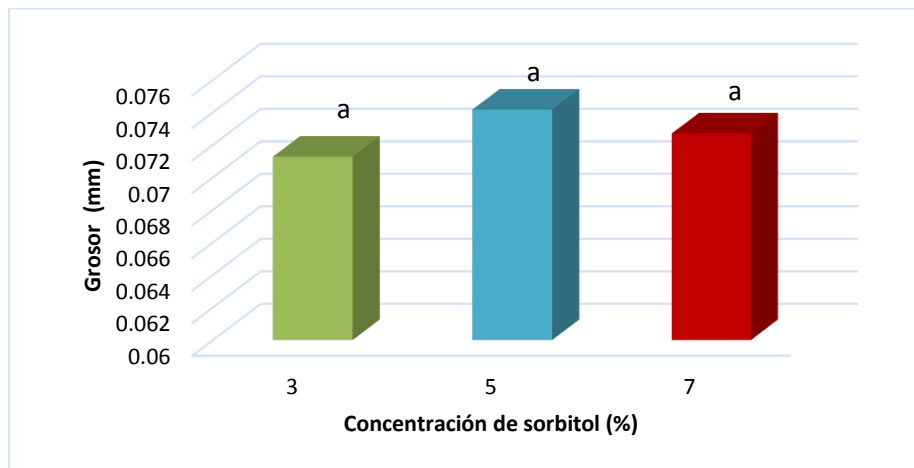


Fig. 21. Efecto de la concentración de sorbitol (%) en el grosor de las películas de quitosano

Lazard *et al.*, (1998) mencionan que para una película resistente generalmente es necesario una película con un grosor mínimo de 0.10 mm aproximadamente. Pueden usarse también películas más finas sobre superficies de alimentos y entre componentes de alimentos en que no se requiere a una

película resistente. Incluso con un grosor menor a 0.10 mm la película es una barrera temporal eficaz contra la transferencia de agua y los valores que obtuvimos oscilaron entre 0.069 a 0.085 mm. Esto nos lleva a proponer que las películas que formulamos están dentro de lo que sugieren otros autores para que las películas sean utilizadas como barreras eficaces en alimentos.

4.1.5 Porcentaje de transmitancia

Los valores de la transmitancia van de 85 a 95%, lo cual denota el grado de transparencia de las películas, y de acuerdo al análisis estadístico no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las películas elaboradas con los diferentes plastificantes. Estos datos se muestran en los anexos 1, 2 y 3 en el análisis de varianza de cada plastificante correspondiente. Los valores más bajos fueron para las películas con glicerol (Fig. 22), valores entre 87.04 y 89.23%.

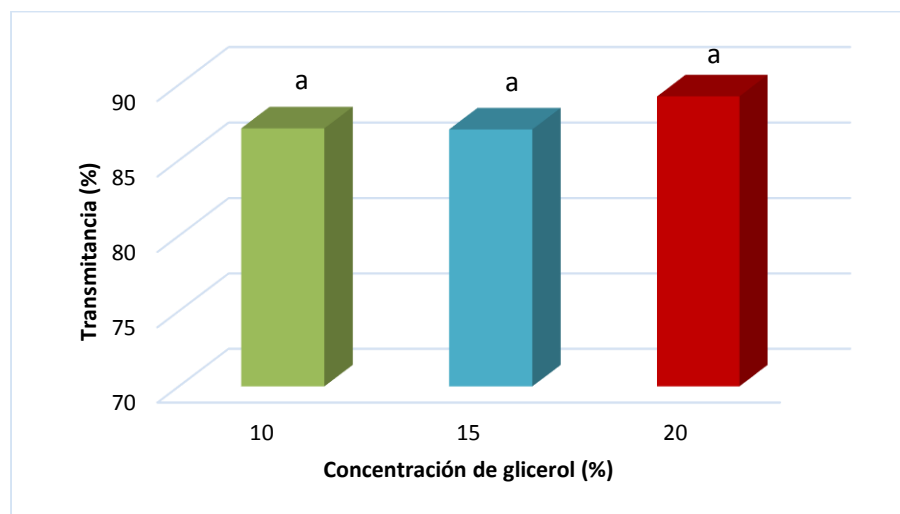


Fig. 22. Influencia del nivel del glicerol sobre la transmitancia de las películas

Los valores más altos de transmitancia para las películas con xilitol oscilaron entre 89.94 y 92.99% (Fig.23) y no hubo diferencia significativa a una $P < 0.05$.

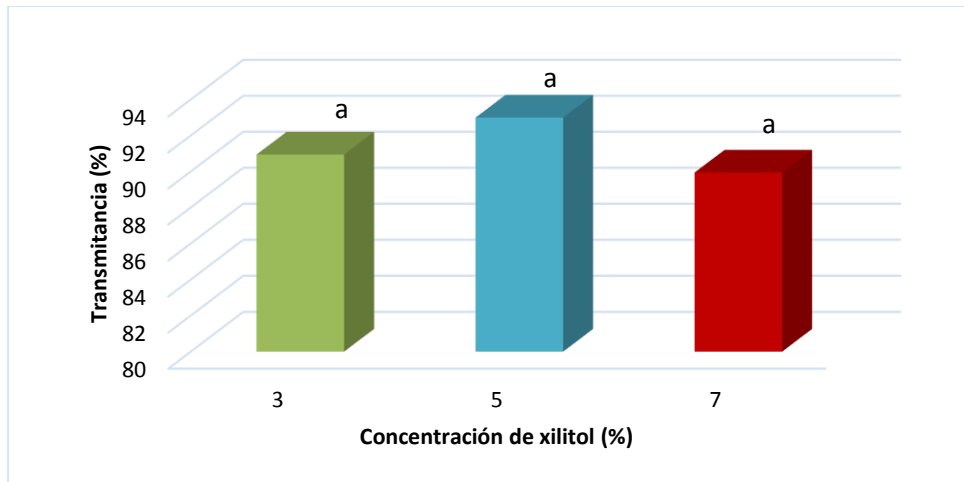


Fig. 23. Influencia del nivel del xilitol sobre la transmitancia de las películas

Para las películas con sorbitol (Fig. 24) tampoco hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) y los valores oscilaron entre 88.90 y 90.89%.

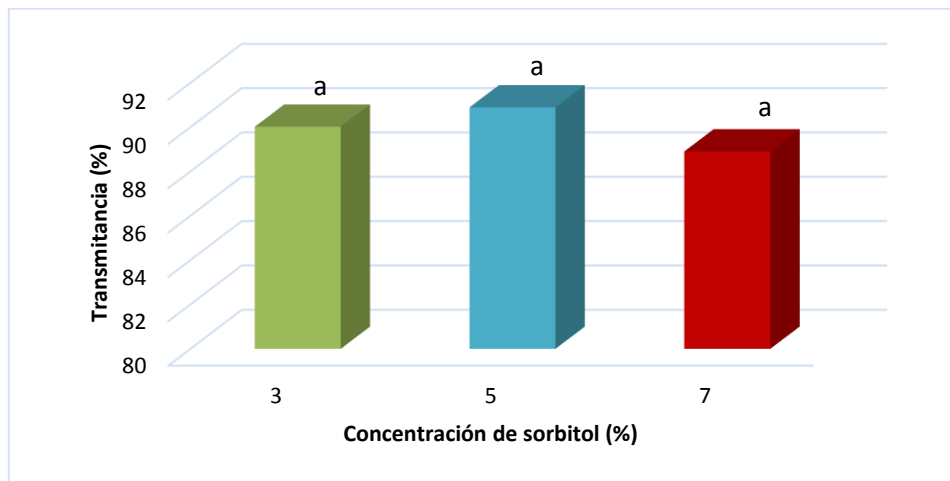


Fig. 24. Influencia del nivel del sorbitol sobre la transmitancia de las películas

4.1.6 Unidades de absorbancia por nm

Para este parámetro los valores que se obtuvieron están entre 0.0048 y 0.0060 (UA*mm) los valores son similares por lo que estadísticamente no hay diferencia significativa ($P < 0.05$) para las películas elaboradas con los tres plastificantes. Los valores más altos en cuanto a la opacidad las obtuvieron las

películas con glicerol (Fig. 25). El ANOVA de estos resultados se muestra en los anexos 1, 2 y 3 de cada plastificante correspondiente.

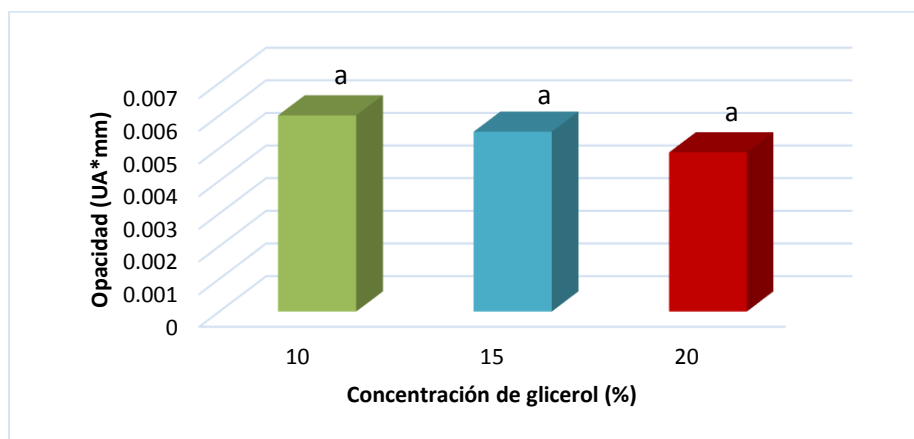


Fig. 25. Efecto de la concentración del glicerol sobre la opacidad de las películas

Los valores más bajos fueron para las películas con xilitol entre 0.0024 y 0.0036 (Fig. 26) y no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$).

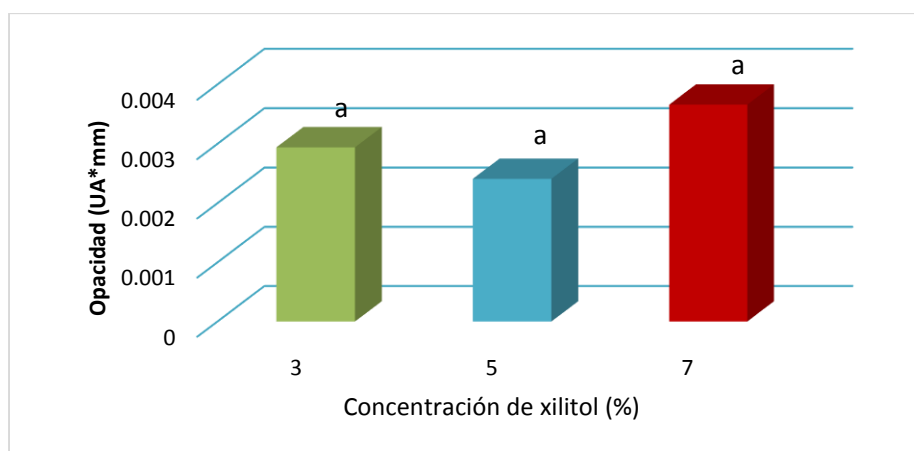


Fig. 26. Efecto de la concentración del xilitol sobre la opacidad de las películas

Los valores de opacidad de las películas con sorbitol que van de 0.0034 a 0.0043 (Fig.27) resultaron un poco más bajas que los de las películas formuladas con glicerol y no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$).

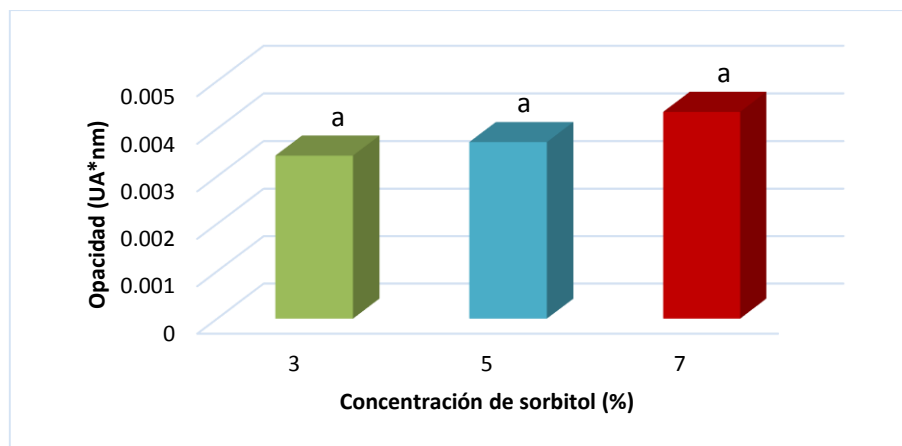


Fig. 27. Efecto de la concentración del sorbitol sobre la opacidad de las películas

Arredondo (2012) menciona que la opacidad puede predecir la perceptibilidad de la PC por el ojo humano al aplicarla como recubrimiento comestible sobre un alimento, por lo que se vuelve importante determinarla. Shaw *et al.*, 2002 en estudios que realizaron con estos tres plastificantes mencionan que las películas más opacas fueron las de xilitol y los datos obtenidos en esta investigación no concuerdan con este autor ya que las películas que mostraron mayor opacidad fueron las de glicerol, esto pudo deberse a que las concentraciones del plastificante fueron mayores que en las películas de xilitol y sorbitol.

4.1.7 Permeabilidad al vapor de agua (WVP)

En cuanto a la permeabilidad los datos que se obtuvieron de acuerdo al análisis estadístico mostraron que si hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) para las películas con glicerol (Fig. 28). El ANOVA de estos resultados se muestra en los anexos 1, 2 y 3 de los plastificantes glicerol, xilitol y sorbitol, los cuales corresponden a cada gráfica. En los anexos 1, 2 y 3 se muestra el ANOVA y la prueba de Tukey en caso de haber diferencia significativa ($P < 0.05$) para cada plastificante según corresponda.

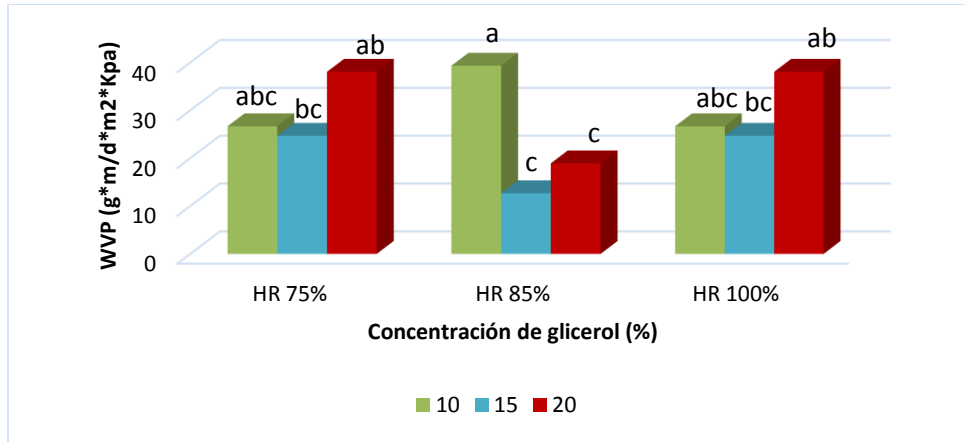


Fig. 28. Efecto de la concentración del glicerol sobre la WVP a diferentes humedades relativas

Para las películas con xilitol (Fig. 29) también hubo diferencia significativa ($P < 0.05$). La WVP de las películas elaboradas con xilitol al 7% y estudiadas a una humedad relativa de 85% fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) a las otras, mostrando un aumento en el valor de este parámetro.

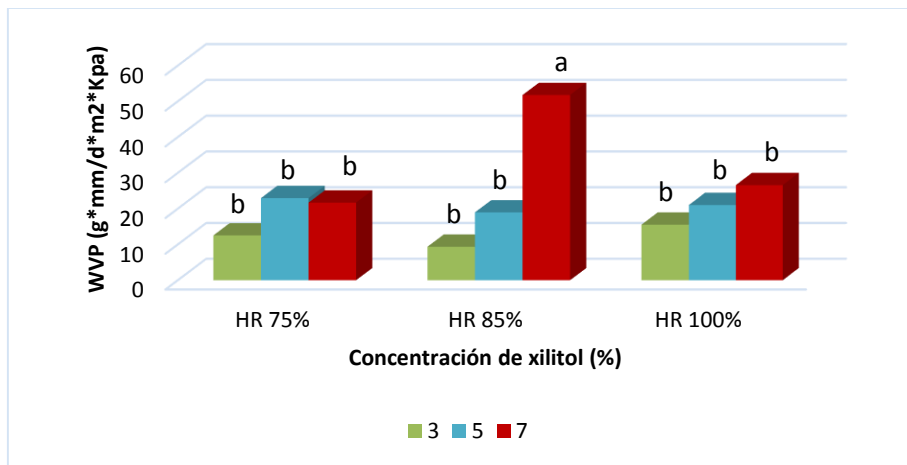


Fig. 29. Efecto de la concentración del xilitol sobre la WVP a diferentes humedades relativas

Muscat *et al.*, (2011) realizaron estudios en películas con glicerol y xilitol, lo que ellos concluyeron que a concentraciones elevadas de glicerol los valores de WVP eran también elevados y en cuanto a las películas con xilitol obtuvieron

como resultado que aun cuando el intervalo de concentración era bastante amplia los valores de WVP eran casi constantes. Estos autores mencionan que esto puede deberse a que el glicerol tiene un alto contenido de humedad mientras que las películas con xilitol mostraban bajo contenido de agua.

Para las películas con sorbitol, no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$), lo cual se muestra en la siguiente gráfica (Fig. 30). Los valores de la HR al 75% van de 13.40 y 24.21%, las de 85% valores de 22.28 y 29.45 y para la HR al 100% sus valores oscilaron entre 13.82 y 24.02%.

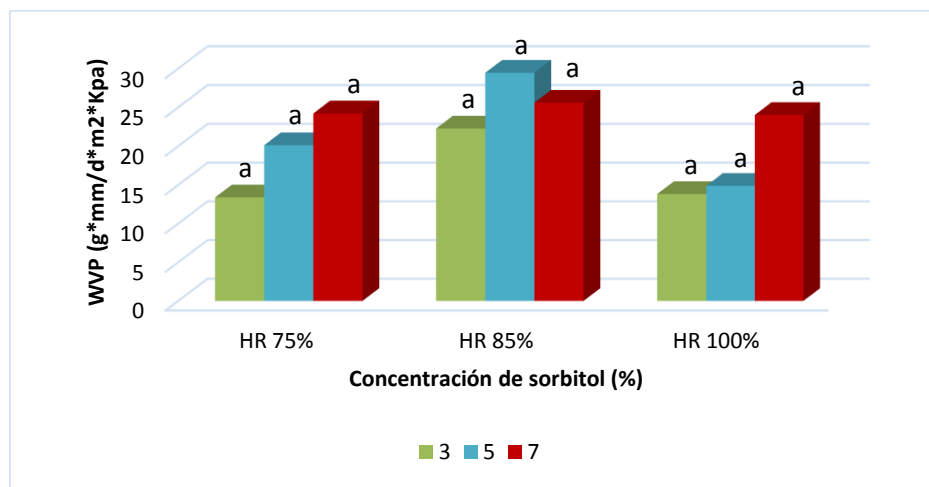


Fig. 30. Efecto de la concentración del sorbitol sobre la WVP a diferentes humedades relativas

Para las películas con sorbitol los valores de WVP fueron más bajos que el glicerol y el xilitol en cuanto a la WVP.

En estudios realizados por Zamudio (2008) reporto que el plastificante sorbitol presentaba valores más bajos en cuanto a la WVP que el glicerol, por lo que los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con estos autores, por lo cual ellos concluyeron que las películas con sorbitol eran más efectivas en la protección como barrera al vapor de agua (Zamudio, 2008). Es una propiedad importante ya que cumple la función de evitar o al menos disminuir la transferencia entre el alimento y la atmosfera circundante. La WVP debe ser lo más baja posible como lo mencionan (Zamudio, 2008).

4.1.8 Porcentaje de humedad

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en el análisis estadístico, las películas con glicerol no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) (Fig. 31). Estas películas presentaron valores entre 82.15 y 86.69 % de humedad. Los resultados en cuanto a este parámetro podemos verlos en el ANOVA realizado para cada plastificante en los anexos 1, 2 y 3.

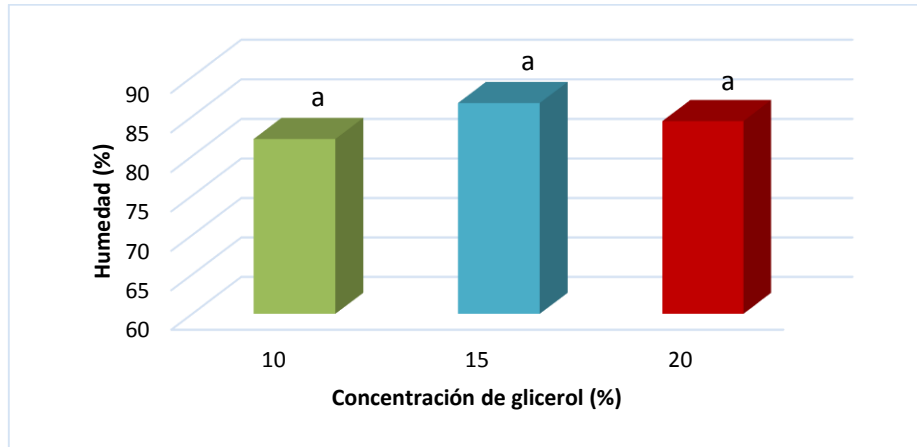


Fig. 31. Efecto de la concentración del glicerol sobre la humedad en las películas

Las películas con xilitol tampoco mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$) (Fig. 32) y los valores oscilaron entre 86.31 y 89.69%.

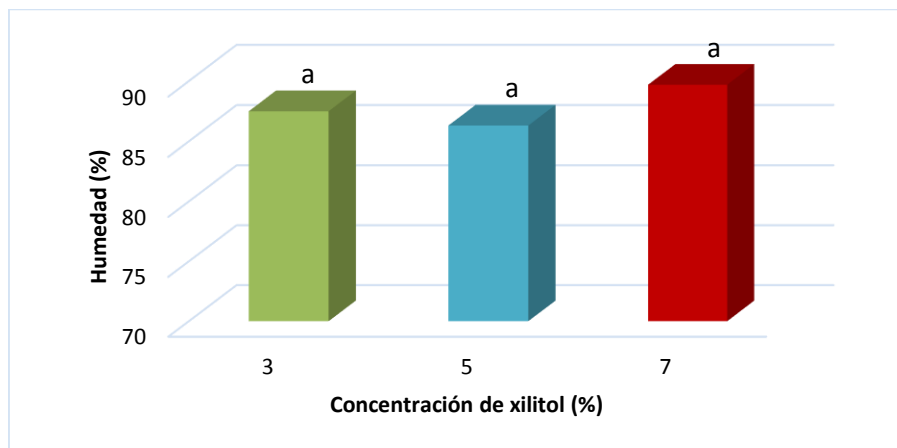


Fig. 32. Efecto de la concentración del xilitol sobre la humedad en las películas

Las películas con quitosano plastificadas con sorbitol no mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$) (Fig. 33) y los valores están entre 88.11 y 88.82% de humedad.

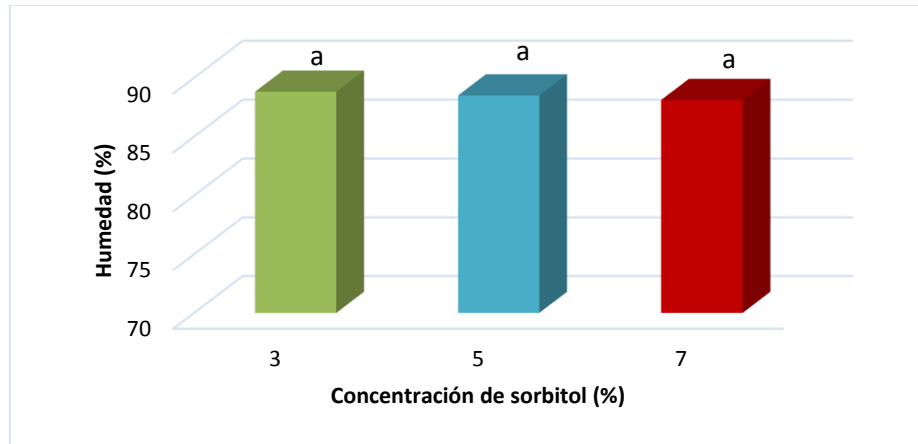


Fig. 33. Efecto de la concentración del sorbitol sobre la humedad en las películas

^bGarcía (2008), menciona que las películas plastificadas con glicerol tienen un mayor contenido de humedad en comparación con películas no plastificadas, esto debido a su actividad hidrofílica. En estudios realizados por Shaw *et al.*, 2002 trabajando con estos tres plastificantes reportaron que en aumentos de contenido de glicerol condujo al aumento de humedad de las películas pero que no hubo ningún cambio significativo en el contenido de humedad con películas de xilitol o sorbitol. Los resultados que se obtuvieron en esta investigación concuerdan con estos autores ya que las películas con glicerol obtuvieron el mayor contenido de humedad y las más bajas, las películas con sorbitol. El contenido de humedad resulta ser un factor importante debido al efecto anti-plastificante de los polímeros que influye en las interacciones polímero-polímero y consecuentemente en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las películas durante el procesamiento y almacenamiento (Zamudio, 2008).

4.1.9 Porcentaje de solubilidad

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en el análisis estadístico, las películas con glicerol no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) (Fig. 34).

Estas películas presentaron valores entre 31.62 y 56.81 % de solubilidad. Presentando además los valores más altos en cuanto a este parámetro. El ANOVA de la solubilidad podemos verla en los anexos 1, 2 y 3 para el glicerol, xilitol y sorbitol respectivamente.

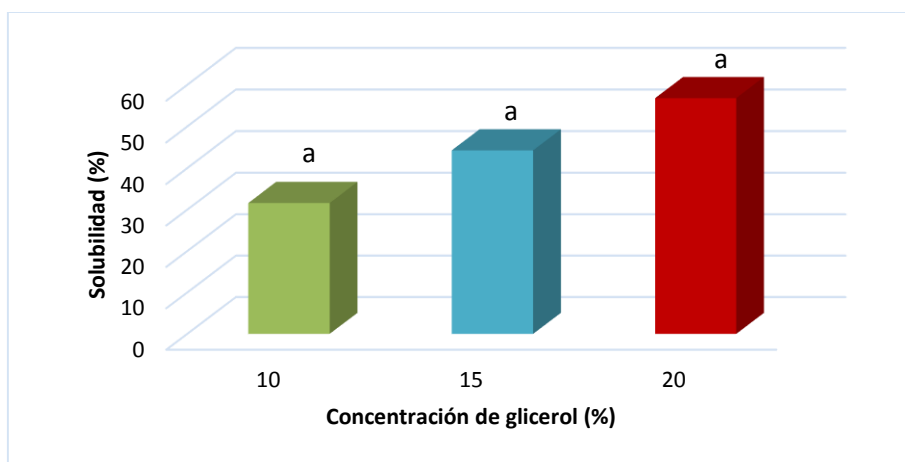


Fig. 34. Efecto de la concentración del glicerol sobre la solubilidad en las películas

Las películas con xilitol (Fig. 35) obtuvieron valores que oscilaron entre 20.23 y 32%, sin diferencia significativa ($P < 0.05$).

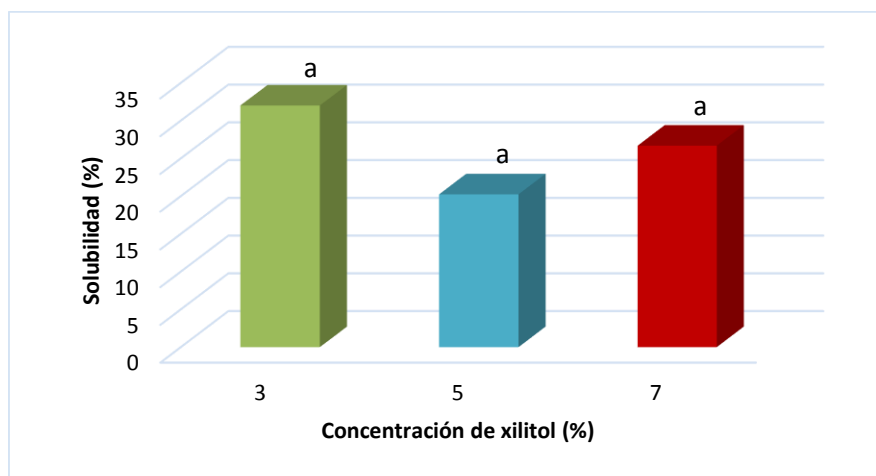


Fig. 35. Efecto de la concentración del xilitol sobre la solubilidad de las películas

En cuanto a las películas con sorbitol en los resultados del análisis estadístico no mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$), y los valores oscilaron entre 36 y 54.05% de solubilidad (Fig. 36).

La solubilidad para la películas es un factor importante para evaluar su degradabilidad debido a que mayor solubilidad los polímeros son más susceptibles a la degradación. Sin embargo en otros casos la solubilidad al agua puede ser una ventaja para algunas aplicaciones como en películas comestibles y de envolturas de dulces que se disuelven mientras están en la boca, mientras que en algunas aplicaciones pueden requerir que la películas presenten una cierta insolubilidad al agua y que mantenga su integridad estructural como puede ser películas para cubrir frutos y hortalizas, lo cual los resultados que se obtuvieron concuerdan con esto último ya que esto puede ser benéfico para el grado bajo de solubilidad de estas películas elaboradas con quitosano, que bien podrían usarse como recubrimientos en frutas y hortalizas (Zamudio, 2008).

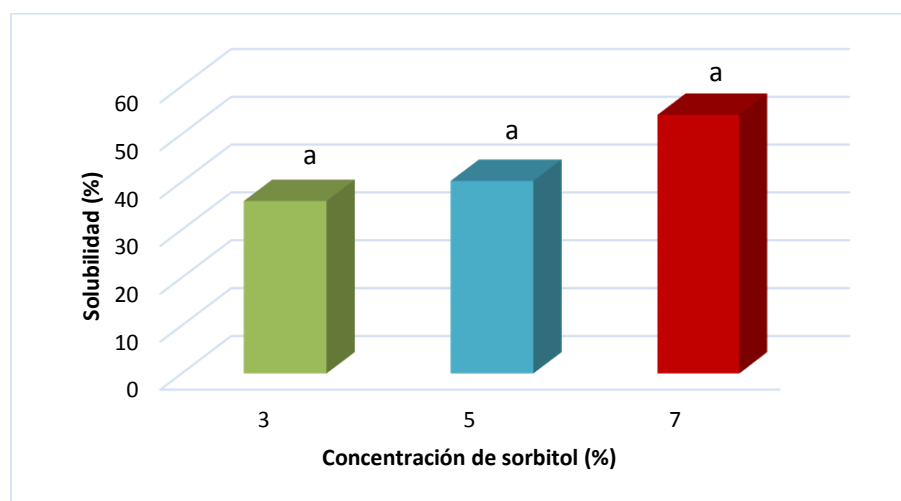


Fig. 36. Efecto de la concentración del sorbitol sobre la solubilidad de las películas

Se han realizado aplicaciones prácticas de quitosano donde estas se ven limitadas por su insolubilidad en agua (Alfonso, 2011). Lo cual podría ser un factor por el cual las películas hayan tenido un grado de solubilidad bajo.

4.1.10 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial realizada por los jueces semientrenados para las películas elaboradas con glicerol a diferentes concentraciones, muestra que no

hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) en ninguno de los atributos evaluados (color, sabor, pegajosidad y aceptación global).

La media de las calificaciones otorgadas por los jueces a las películas de acuerdo al atributo de color está entre 4.08 y 4.69. Para el atributo de sabor las medias de las calificaciones fueron de 3.46 a 4.85, en cuanto al atributo de pegajosidad las calificaciones promedio fueron de 4.31 a 5.54 y para la aceptación global las medias de las calificaciones oscilaron entre 3.23 y 5.15 (Cuadro 3).

Para los resultados de la evaluación sensorial se realizó el ANOVA para cada atributo, el cual podemos ver en el anexo 1.

Cuadro 3. Efecto de la concentración de glicerol sobre los atributos de las películas de quitosano evaluadas sensorialmente.

Formulación CHI/AC.LAC/GLY (%)	COLOR	SABOR	PEGAJOSIDAD	ACEPTACIÓN GLOBAL
1/1/10	4.38 ^a	4.85 ^a	4.62 ^a	5.15 ^a
1/1/15	4.69 ^a	3.46 ^a	5.54 ^a	4.08 ^a
1/1/20	4.08 ^a	3.46 ^a	4.31 ^a	3.23 ^a

Los subíndices diferentes (a) representan que no hay diferencia significativa ($P < 0.05$)

La evaluación sensorial realizada por los jueces semientrenados para las películas elaboradas con xilitol a diferentes concentraciones, muestra que no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) en ninguno de los atributos evaluados (color, sabor, pegajosidad y aceptación global).

La media de las calificaciones otorgadas por los jueces a las películas de acuerdo al atributo de color está entre 4.69 y 5.85. Para el atributo de sabor las medias de las calificaciones fueron de 5.23 a 6.31, en cuanto al atributo de pegajosidad las calificaciones promedio fueron de 4.46 a 6 y para la aceptación global las medias de las calificaciones oscilaron entre 5.23 y 6.08 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la concentración de xilitol sobre los atributos de las películas de quitosano evaluadas sensorialmente.

Formulación CHI/AC.LAC/XIL (%)	COLOR	SABOR	PEGAJOSIDAD	ACEPTACIÓN GLOBAL
1/1/3	4.69 ^a	6.08 ^a	5.46 ^a	6.08 ^a
1/1/5	5.85 ^a	5.23 ^a	6 ^a	5.23 ^a
1/1/7	5.85 ^a	6.31 ^a	4.46 ^a	5.38 ^a

Los subíndices (a) representan que no hay diferencia significativa ($P < 0.05$)

Para la evaluación sensorial realizada por los jueces semientrenados en las películas elaboradas con sorbitol a diferentes concentraciones, muestra que no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) en ninguno de los atributos evaluados (color, sabor, pegajosidad y aceptación global).

La media de las calificaciones otorgadas por los jueces a las películas de acuerdo al atributo de color está entre 4.77 y 5.38. Para el atributo de sabor las medias de las calificaciones fueron de 4.92 a 5.38, en cuanto al atributo de pegajosidad las calificaciones promedio fueron de 4.69 a 5.08 y para la aceptación global las medias de las calificaciones oscilaron entre 5 y 6.23 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de la concentración de sorbitol sobre los atributos de las películas de quitosano evaluadas sensorialmente.

Formulación CHI/AC.LAC/SOR (%)	COLOR	SABOR	PEGAJOSIDAD	ACEPTACIÓN GLOBAL
1/1/3	5.31 ^a	5.38 ^a	4.77 ^a	6.23 ^a
1/1/5	5.38 ^a	5.23 ^a	5.08 ^a	5 ^a
1/1/7	4.77 ^a	4.92 ^a	4.69 ^a	5 ^a

Los subíndices (a) representan que no hay diferencia significativa ($P < 0.05$)

Se han realizado pocos estudios enfocados en cómo entender la actitud del consumidor acerca de las películas y recubrimientos comestibles, así aun cuando no hubo diferencia significativa en ninguno de los atributos evaluados para los tres plastificantes, hubo comentarios por parte de los panelistas sobre esta evaluación pues era algo nuevo para ellos. Esto implica que el consumidor podría tener diferentes grados de aceptabilidad para los diferentes productos que se revistan (Salamanca, 2001). Considerando los resultados y los comentarios que hicieron los panelistas hubo cierto grado de dificultad para las evaluaciones por la acidez de las películas.

Entre los comentarios que realizaron los panelistas fueron que hubo un cierto grado de dificultad al evaluar las películas comestibles porque eran muchas muestras a evaluar, además de la acidez que estas películas presentaban, también se les dificultaba evaluar el sabor de estas películas.

CAPITULO V. CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos de esta investigación tenemos las siguientes conclusiones:

- Se logró la formulación y obtención de películas de quitosano al 1% con glicerol (10, 15 y 20%), xilitol (3, 5 y 7%) y sorbitol (3, 5 y 7%).
- Se caracterizaron las películas formuladas analizando el color, por ciento de humedad, por ciento de solubilidad, el grosor y permeabilidad al vapor de agua a 75, 85 y 100% de humedad relativa. Presentando en la mayoría de los parámetros evaluados sin diferencia significativa ($P < 0.05$). Para los parámetros de color, el factor L presento diferencia significativa solo para las películas con glicerol valores que oscilaron entre 90 y 100, y para los parámetros a^* y b^* resultaron estadísticamente semejantes. En cuanto al grosor para los tres plastificantes no hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) cumpliendo con las características deseadas para una película de barrera eficaz. Para la humedad y la solubilidad las películas resultaron estadísticamente iguales. Y en cuanto a la permeabilidad al vapor de agua hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) para las películas con glicerol y xilitol excepto las de sorbitol resultando esta ultima la mejor pues era la menor en cuanto a este parámetro.
- De acuerdo a la evaluación sensorial de los atributos de las películas formuladas, los panelistas no encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$), es decir que las películas son sensorialmente iguales en los atributos evaluados.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

Aguayo, E., Escalona, V. H., & Artés, F. 2006. Effect of cyclic exposure to ozone gas on physicochemical sensorial and microbial quality of whole and sliced tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 169-177.

Aguilar Méndez, M.A. 2005. Tesis maestría. Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. Instituto Politécnico Nacional. Pág. 16, 35, 36, 37.

Albacete, C., Chiralt, A. y González Martínez, C. Consultado en 2014. Efecto de la humedad y del glicerol en transiciones de fase de biopolímeros: proteína de guisante y quitosano. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos.

Alvarez Hayes, J., Díaz Ramírez, L.E., Mauri, A.N y Añón, M.C. Consultado en 2014. Tención de películas biodegradables a partir de proteínas de amaranto. Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos.

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

Arévalo Niño, K., Alemán Huerta, M. E., Rojas Verde, M. G. y Morales Rodríguez, L. A. 2010. Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: propuesta

de empaques activos. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 1, 124-134. Universidad Autónoma de Nuevo León, Instituto de Biotecnología. Facultad de Ciencias Biológicas.

Arredondo Ochoa, T. 2012. Tesis maestría. Diseño de empaques comestibles activos a base de almidón modificado para su posible aplicación en alimentos en fresco. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química. Pág. 47.

ASTM D 82-91. (1991). Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. *In Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, PA: American Society for Testing & Materials.

ASTM. (2001). Standard methods of test for water vapor transmission of materials in sheet form (E 96-00). *In Annual Book of ASTM Standards* (pp. 1048–1053). Philadelphia, PA: American Society for Testing and Material.

Battellino Valenti, L.J., Lissera, R.G, Yankilevich, ERLM, Francia, C.M, 2003. Efecto del xilitol sobre la formación de película adquirida bajo condiciones in vitro. *Revista Biomédica Latinoamericana*. 5 (1): 13-21.

Bautista-Baños, S., Hernández Lauzardo, A. N., Velázquez del Valle, M. G., Bósquez Molina, E. y Sánchez Domínguez, D. 2005. Quitosano: una alternativa natural para reducir microorganismos postcosecha y mantener la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 7 (1): 1-6.

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

Brandao Delgado, J.L. y Peña Turcios, A.G. 2012. Efecto de dos temperaturas y tres combinaciones de plastificante en las propiedades físicas de una película comestible a base de proteína de suero ácido. Pág. 2.

Calatayud, M., Vigliocco, F., Rillo, S., Heba, J. y Della Vecchia, M. Consultado en mayo 2014. Caracterización de quitosanos por resonancia magnética nuclear de protón. En línea: <http://www.inti.gob.ar/tecnointi/CD/info/pdf/474.pdf>

Duross Wix, J. 1999. Composiciones del sorbitol/xilitol cocrystalizado en masa fundida. Oficina Española de Patentes y Marcas.

Famá, L., Rojas, A. M., Gerschenson, L. y Goyanes, S. 2004. Influencia del contenido de sorbato en el comportamiento mecánico a temperatura ambiente de películas comestibles. Congreso COMAMET/SAM. (s.n.v)

^aGarcía Pérez, M.A. 2008. Películas y cubiertas de quitosana en la conservación de vegetales. Ciencia y Tecnología de Alimentos. 18 (1): 71-75. Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de la Habana.

^bGarcía Tejeda, Y. V. 2008. Elaboración de películas de almidón oxidado de plátano (*Musa Paradisiaca*) por Extrusión y su caracterización parcial. Tesis Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Pág. 27.

Gontard, N., & Guilbert, S. (1994). Biopackaging: Technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. In M. Mathlouthi (Ed.), *Food packaging and preservation* (pp. 159–181). New York: Blackie Academic & Professional.

González Hernández, J.C, Álvarez Navarrete, M., Ornelas Hernández, L.C. y Zamudio Jaramillo, 2011. *Producción y Aplicaciones Biotecnológicas del Xilitol*. Instituto Tecnológico de Morelia.

Han, J.H., & Floros, J.D. (1997). Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. *Journal of Plastic Film &Sheeting*, 13, 287–298.

Labuza, T. P., Kaanane, A., & Chen, J. Y. (1985). Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. *Journal of Food Science*, 50, 385–391.

Martín-Belloso, O., Rojas-Graü, M.A. y Oms-Oliu, G. 2004. *Calidad de frutas frescas cortadas y películas comestibles*. Universidad de Lleida, España.

Martínez Camacho, A.P. 2009. Tesis Licenciatura. Propiedades estructurales y fungistáticas de biopelículas de quitosano obtenido de ensilados desecho de camarón. Universidad de Sonora. División de Ciencias Biológicas y de la Salud.

Mei, Y., & Zhao, Y. (2003). Barrier and mechanical properties of milk protein-based edible films containing nutraceuticals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1914-1918.

Muscat, D., Adhikari, B., Adhikari, R. y Chaudhary, D.S. 2011. Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xilitol as plasticizers. *Journal of Food Engineering*.

Nayive, F., Venero, P., Conchado, D., García, J. y Álvarez, C. 2009. Entrenamiento sensorial para la evaluación de la calidad de un jamón endiabado. *Revista UDO Agrícola*. 9 (3): 641

Nieto Orellana, C.R. y Orellana Ulloa, V.P. 2011. Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. Tesis Licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana. Pág. 39-48.

Noriega Alaman, T. M, 2011. Diseño y evaluación de una película comestible a base de quitosano con antimicrobiano natural. Pág. 19-22.

Olivas-Gastélum, R., Nervárez-Moorillón, G.V y Gastélum-Franco, M.G., 2009. Las pruebas de diferencia en el análisis sensorial de los alimentos. *Tecnociencia Chihuahua*. 3 (1): 1-3.

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

Patente (España). 2 109 303. Enero, 16, 1998. Lazard, L., Doreau, Albert y Nadison y Jeffrey.

Pérez los Bueis Martín, P. 2012. Caracterización de la liberación de carvacrol y eugenol contenidos en Films WPI. Universidad Pública de Navarra. Pág. 15, 17.

Potter, N. N y Hotchkiss, J. H. 2007. Ciencia de los alimentos. Pág. 550.

Quintero, C. J, Falguera, V. y Muñoz H. A., 2010. Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. Revista Tumbaga. Pág. 94-102

Ramos García, M.L., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L.L., Bósquez-Molina, E., Alia-Tejacal, I. y Estrada-Carrillo, M. 2010. Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos para uso en productos hortofrutícolas. Revista Mexicana de Fitopatología.

Rao, M.S., Kanatt, S.R., Chawla, S.P. y Sharma, A., 2011. Chitosan and guar composite films: Preparation, physical, mechanical and antimicrobial properties. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/carbpol. 82 (4): 1244-1245.

Restrepo Duque, A. M., Cortes Rodríguez, M. y Suarez Mahecha, H., 2008. Evaluación sensorial de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) y Uchuva (*Physalis peruviana* L.) fortificadas con vitamina E. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. 61 (2): 4667:4668.

Rodríguez Turienzo, L. 2011. Tesis Doctoral. Evaluación de recubrimientos comestibles proteicos aplicados al salmón del Atlántico (*Salmo salar*) congelado: estudio de diferentes formulaciones y tratamientos tecnológicos.

Romero-Bastida, C.A., Bello-Pérez, L.A., García, M.A., Martino, M.N., Solorza-Feria, J., & Zaritzky, N.E. (2005). Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymers*, 60, 235-244.

Rosero Ramírez, Y. S. 2011. Estudio de la reacción de producción de isosorbida por deshidratación de sorbitol. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Bogotá D.C., Colombia. Pág. 12-24

Salamanca Grosso, G. 2001. Criterios relativos al análisis sensorial de mieles. Departamento de Química, Facultad de Ciencias.

Shaw, N. B., Monahan, F. J., O 'Riordan, E. D. y O'Sullivan, M. 2002. Physical Properties of WPI Films Plasticized with Glycerol, Xylitol, or Sorbitol. Food Engineering and Physical Propertles. 67 (1): 164-166.

Valenzuela, V. C. y Arias J. I. 2012. Potenciales aplicaciones de películas de quitosano en alimentos de origen animal: una revisión. Avances en Ciencias Veterinarias, 27 (1): 33-39.

Yu Hernández, P.A. 2004. Tesis Licenciatura. Efecto de la mezcla de plastificantes en las propiedades físicas, mecánicas y de transporte de películas de quitosano. Universidad de las Américas Puebla. Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

Zamudio Flores, P. B. 2008. Caracterización estructural de películas elaboradas con almidón modificado de plátano y con quitosano. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Pág. 17.

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza (ANOVA) para películas con Glicerol

Color factor L

ANOVA L

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	42.6354596	21.3177298	6.7898171	0.00339035
ERROR	33	103.608841	3.13966186		
C. TOTAL	35	146.244301	.	.	

TUKEY TEST

LEVEL		Least square Means
0.1	A	96.299
0.15	B	94.0283333
0.2	B	93.9543333

Color Factor a*

ANOVA A

SPURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.00084356	0.00042178	0.00747305	0.99255648
ERROR	33	1.86251467	0.05643984		
C. TOTAL	35	1.86335822	.	.	

Color Factor b

ANOVA B

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.63887289	0.31943644	0.41467201	0.66395095
ERROR	33	25.4210617	0.7703352		

Grosor

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.00017781	0.0000889	0.71138757	0.49833684
ERROR	33	0.00412414	0.00012497		
C. TOTAL	35	0.00430195	.	.	

% de Transmitancia

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means Square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	12.3543803	6.17719013	0.30908558	0.74160908
ERROR	9	179.868343	19.9853715		
C. TOTAL	11	192.222723	.	.	

Opacidad

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of square	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.00000258	0.00000129	0.23796979	0.79303256
ERROR	9	0.00004886	0.00000543		
C. TOTAL	11	0.00005144	.	.	

WVP (Permeabilidad al vapor de agua)

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of square	Means square	F ratio	Prob<F
MODEL	8	1345.54018	168.192522	12.5613777	0.0004749
ERROR	9	120.506901	13.3896557		
C. TOTAL	17	1466.04708	.	.	

TUKEY TEST

LEVEL				Least sq means
0.1,85	A			39.3167802
0.2,75	A	B		38.0691029
0.2,100	A	B		38.0691029
0.1,100	A	B	C	26.678121
0.1,75	A	B	C	26.678121
0.15,75		B	C	24.6853145
0.15,100		B	C	24.6853145
0.2,85			C	18.9298373
0.15,85			C	12.6790218

% de Humedad**ANOVA**

SOURCE	DF	Sum of square	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	41.29036	20.64518	2.509345	0.136116
ERROR	9	74.04587	8.227319		
C. TOTAL	11	115.3362			

% de Solubilidad**ANOVA**

SOURCE	DF	Sum of square	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	1269.879	634.9394	3.207207	0.088801
ERROR	9	1781.754	197.9727		
C. TOTAL	11	3051.633			

Evaluación sensorialColor**ANOVA**

SOURCE	DF	Sum of square	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	8	40.9230769	5.11538462	0.74750208	0.64946532
ERROR	108	739.076923	6.84330484		
C. TOTAL	116	780			

Sabor

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of square	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	8	102.529915	12.8162393	2.0522354	0.0468819
ERROR	108	674.461538	6.24501425		
C. TOTAL	116	776.991453			

Pegajosidad

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of square	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	8	33.4529915	4.18162393	0.60738672	0.76995141
ERROR	108	743.538462	6.88461538		
C. TOTAL	116	776.991453			

Aceptación global

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of square	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	8	89.2478632	11.1559829	1.7372449	0.09787094
ERROR	108	693.538462	6.42165242		
C. TOTAL	116	782.786325			

Anexo 2. Análisis de varianza (ANOVA) para películas con Xilitol

Color Factor L

ANOVA L

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	1.60916022	0.80458011	1.96981544	0.15554387
ERROR	33	13.4790007	0.40845457		
C. TOTAL	35	15.0881609	.	.	

Color Factor a*

ANOVA A

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.00839267	0.00419633	0.32248867	0.72660109
ERROR	33	0.42940733	0.01301234		
C. TOTAL	35	0.4378	.	.	

Color Factor b

ANOVA B

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.94677422	0.47338711	3.90605789	0.03002339
ERROR	33	3.999371	0.12119306		
C. TOTAL	35	4.94614522	.	.	

TUKEY TEST

LEVEL		Least sq means
0.07	A	4.87116667
0.05	A B	4.66083333
0.03	B	4.47416667

Grosor

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means sq	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.00017214	0.00008607	1.676633	0.20254118
ERROR	33	0.00169405	0.00005133		
C. TOTAL	35	0.00186619	.	.	

% de Transmitancia

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	19.4110204	9.70551021	3.03968927	0.09803153
ERROR	9	28.7363556	3.1929284		
C. TOTAL	11	48.147376	.	.	

Opacidad

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.00000315	0.00000157	1.45881742	0.28264152
ERROR	9	0.0000097	0.00000108		
C. TOTAL	11	0.00001285	.	.	

WVP (Permeabilidad al vapor de agua)

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob<F
MODEL	8	2418.29602	302.287002	12.8479304	0.00043453
ERROR	9	211.752628	23.5280697		
C. TOTAL	17	2630.04865	.	.	

TUKEY TEST

LEVEL		Least sq means
0.07,85	A	51.7786147
0.07,100	B	26.5948058
0.05,75	B	22.9652726
0.07,75	B	21.7013072
0.05,100	B	21.0235161
0.05,85	B	18.9642598
0.03,100	B	15.5370515
0.03,75	B	12.5428395
0.03,85	B	9.36855611

% de Humedad

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of square	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	23.6145421	11.807271	2.254449	0.160806
ERROR	9	47.1358795	5.23731994		
C. TOTAL	11	70.7504216			

% de Solubilidad

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of square	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	278.1627	139.0814	1.545796	0.264799
ERROR	9	809.7653	89.97393		
C. TOTAL	11	1087.928			

Anexo 3. Análisis de varianza (ANOVA) para películas con Sorbitol

Color Factor L

ANOVA L

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.73066867	0.36533433	1.10281929	0.34385732
ERROR	33	10.9320113	0.33127307		
C. TOTAL	35	11.66268	.	.	

Color Factor a*

ANOVA A

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.210614	0.105307	1.55493664	0.22628283
ERROR	33	2.234902	0.0677243		
C. TOTAL	35	2.445516	.	.	

Color Factor b

ANOVA B

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.00659467	0.00329733	0.00899179	0.99105095
ERROR	33	12.1012653	0.36670501		
C. TOTAL	35	12.10786	.	.	

Grosor

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means sq	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.00005046	0.00002523	0.41772189	0.66197873
ERROR	33	0.00199297	0.00006039		
C. TOTAL	35	0.00204343	.	.	

% de Transmitancia

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	7.94424827	3.97212413	0.46703946	0.64123477
ERROR	9	76.5441037	8.50490041		
C. TOTAL	11	84.488352	.	.	

Opacidad

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.00000177	8.84E-07	1.13793034	0.36259152
ERROR	9	0.00000699	7.77E-07		
C. TOTAL	11	0.00000876	.	.	

WVP (Permeabilidad al vapor de agua)

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob<F
MODEL	8	521.93331	65.2416637	1.65983919	0.23284292
ERROR	9	353.754133	39.3060147		
C. TOTAL	17	875.687442	.	.	

% de Humedad

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	0.99256775	0.49628388	0.12744993	0.88189836
ERROR	9	35.0455668	3.89395187		
C. TOTAL	11	36.0381345			

% de Solubilidad

ANOVA

SOURCE	DF	Sum of squares	Means square	F ratio	Prob>F
MODEL	2	713.044571	356.522285	1.02766119	0.39629623
ERROR	9	3122.3331	346.925901		
C. TOTAL	11	3835.37768			