



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

Caracterización fisicoquímica de un
recubrimiento comestible a base de
hidrocoloides para prolongar la vida útil de
guayaba (*Psidium guajaba*)

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

Pérez Gutiérrez Guadalupe Monserrath

ASESOR: I. Q. Guadalupe Franco Rodríguez

COASESOR: Dr. Martín Ramón Porrás Godínez

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTÁZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis.**

Caracterización fisicoquímica de un recubrimiento comestible a base de hidrocoloides para prolongar la vida útil de guayaba (Psidium guajaba)

Que presenta la pasante: **Guadalupe Monserrath Pérez Gutiérrez**
Con número de cuenta: **414068610** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de junio de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez	
VOCAL	I.A. Patricia Muñoz Aguilar	
SECRETARIO	M. en C. María Guadalupe Amaya León	
1er. SUPLENTE	I.Q. Guillermo Martínez Morua	
2do. SUPLENTE	M. en C. Selene Pascual Bustamante	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

AGRADECIMIENTOS

Primeramente doy gracias a Dios por permitirme tener tan buena experiencia dentro de mi universidad, gracias a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por permitirme convertirme en una ser profesional, gracias a cada profesor que hizo parte de éste proceso integral de formación.

Con mucho cariño a mi madre por haber forjado la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros te los debo a ti, entre los que se incluye éste, gracias por brindarme una carrera profesional, por creer en mí, a mis hermanas que me han apoyado y por todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo.

A mis abuelos que fueron las personas después de mis padres que más se preocuparon por mí. Sus canas son sinónimo para mí de sabiduría. Me encaminaron por el buen sendero

A Alejandro V. por la ayuda que me has brindado ha sido importante, estuviste a mi lado inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas, siempre ayudándome. No fue sencillo culminar con éxito este proyecto, sin embargo fuiste muy motivadora y esperanzadora, me decías que lo lograría perfectamente.

Quiero agradecer a la profesora Guadalupe Franco Rodríguez y al Doctor Martín Ramón Porras Godínez en la ayuda a la elaboración de éste trabajo, por su tiempo, enseñanzas, ideas y conocimientos compartidos a no cometer los mismos errores, y a corregir el cambio.

ÍNDICE

	PÁGINA
1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Guayaba	1
1.1.1 Tasa de producción de etileno	3
1.1.2 Índices de calidad de postcosecha	4
1.1.3 Cambios asociados a la maduración	5
1.1.4 Principales causantes de daños en la guayaba	6
1.2 Enfermedades que afectan a la guayaba (<i>Psidium guajaba</i>)	8
1.2.1 <i>Pestalotiopsis psidii guajava</i>	9
1.2.2 <i>Collectotrichum gloeosporioides</i> (Antracnosis)	11
1.2.3 Técnicas de conservación	12
1.3 El futuro de las películas comestibles	15
1.4 Películas Comestibles	17
1.4.1 Películas comestibles a base de Hidrocoloides	19
1.4.2 Películas comestibles a base de Polisacáridos	20
1.4.3 Películas comestibles a base de Lípidos	20
1.4.4 Películas comestibles a base de Proteínas	21
1.4.5 Películas comestibles a base de Proteínas y Polisacáridos	21
1.4.6 Películas comestibles entre biopolímeros	22
1.5 Materiales formadores de las Películas comestibles	27
1.5.1 Plastificantes	27
1.5.2 Glicerol	28
1.5.3 Alginato de Sodio	28
1.5.4 Generalidades del Alginato de Sodio	29
1.5.5 Estabilidad de los alginatos	31
1.5.6 Goma Guar	33
1.5.7 Generalidades de la Goma guar	34
1.6 Formas de aplicación de la película comestible	35
1.7 Propiedades de Películas Comestibles	36
1.7.1 Propiedades Mecánicas y de Barrera	36
1.7.2 Propiedades físicas	37
1.8 Antimicrobianos y aplicaciones en alimentos	38
1.8.1 Ácido Cítrico	39
1.8.2 Sorbato de Potasio	40
2. JUSTIFICACIÓN	43
3. CAPÍTULO II METODOLOGÍA	44
3.1. Objetivo General	44
3.2 Objetivos Particulares	44
3.3 Hipótesis	44

4. CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	45
4.1 Materiales	45
4.2 Métodos	45
4.3 Preparación de Soluciones formadoras de Película	45
4.4 Elaboración de películas	46
4.5 Acondicionamiento de películas	46
4.6 Espesor de las películas comestibles	46
4.7 Propiedades Mecánicas	47
4.8 Angulo de Contacto	47
4.9 Permeabilidad al vapor de agua	58
4.10 Microscopía Electrónica de Barrido	49
4.11 Acondicionamiento de materia prima	49
4.12 Aplicación de películas a frutos de guayaba	50
4.13 Color	50
4.14 pH	51
4.15 Acidez	51
4.16 Solidos Solubles	51
4.17 Vida de Anaquel	52
5. CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
5.1 Propiedades Mecánicas	54
5.2 Ángulo de Contacto	56
5.3 Permeabilidad al vapor de agua	57
5.4 Microscopía electrónica de barrido	60
5.5 Color	63
5.6 pH	65
5.7 Acidez	67
5.8 Sólidos Solubles	69
5.9 Vida de Anaquel	70
6. CONCLUSIONES	74
7. BIBLIOGRAFÍA	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Estados iniciales de <i>Pestalotiopsis psidii</i>	10
Figura 2. Estados iniciales de <i>Collectotrichum g.</i>	11
Figura 3. Funciones selectiva de las películas comestibles	17
Figura 4. Red hinchada	24
Figura 5. Red de interpenetración	25
Figura 6. Red de fases separadas	25
Figura 7. Red acopladas	25
Figura 8. Clasificación de películas comestibles aplicadas en alimentos	26
Figura 9. Molécula del glicerol	28
Figura 10. Estructura química del Alginato de sodio	29
Figura 11. Estructura química de Goma Guar	33
Figura 12. Estructura química del Ácido cítrico	40
Figura 13. Estructura química del Sorbato de Potasio	42
Figura 14. Equipo TANTEC (Angulo de contacto)	47
Figura 15. Representación de la medición de Permeabilidad de Vapor	48
Figura 16. Representación de adsorción de la película comestible	56
Figura 17. Micrografías de la película adicionada con ácido cítrico	61
Figura 18. Micrografías de la película adicionada con sorbato de potasio	62
Figura 19. Día 1 de almacenamiento	70
Figura 20. Día 3 de almacenamiento	70
Figura 21. Día 8 de almacenamiento	71
Figura 22. Día 12 de almacenamiento	71

INDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Composición química de la guayaba.	2
Cuadro 2. Producción nacional de guayaba	3
Cuadro 3. Concentraciones de elaboración de películas comestibles	46
Cuadro 4. Comparativo de permeabilidad de vapor de agua	57

INDICE DE GRÁFICOS

	PÁGINA
Gráfico 1. Influencia de la fuerza aplicada en 3 puntos diferentes de las películas	55
Gráfico 2. Gráfico comparativo de la permeabilidad del vapor de agua.	58
Gráfico 3. Luminosidad de los frutos de guayaba recubiertos con película comestible	63
Gráfico 4. Cambio de color (ΔE) en guayabas recubiertas con película comestible.	64
Gráfico 5. Valores de pH de frutas de guayaba durante 12 días de almacenamiento	66
Gráfico 6. Acidez titulable de guayaba sometidas a tratamiento con agentes antimicrobianos.	68
Gráfico 7. Sólidos Solubles de guayaba con agentes antimicrobianos	69

INTRODUCCIÓN

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es un fruto que se cultiva en regiones tropicales y subtropicales, generalmente se consume en fresco y por su composición nutricional resulta una excelente fuente de vitamina C, además contiene vitaminas B1 y B2, (Nieto, 2007). Se trata de un fruto climatérico cuyas características físicas y químicas comienzan a deteriorarse rápidamente dentro de los primeros días después de su cosecha, éste proceso se debe a que en esta etapa se generan reacciones metabólicas que aceleran los procesos de maduración e indirectamente se vuelve vulnerable al ataque de microorganismos y reacciones enzimáticas de deterioro debido a la disminución de la resistencia de la epidermis y de la pulpa (Azzolini *et al.*, 2004). De acuerdo con Droby *et al.* (2011), las enfermedades más comunes que se presentan son: antracnosis y pudrición por *Aspergillus* reportando pérdidas significativas en frutos en almacenamiento y transporte. Por esta razón se ha incrementado el interés por mejorar las técnicas de conservación preservando sus atributos, algunas técnicas de conservación son el almacenamiento a bajas temperaturas o en atmósferas controladas (P Singh, 2008), no obstante en la actualidad se han desarrollado nuevas tecnologías como los recubrimientos comestibles que han tomado gran importancia, ya que es una tecnología, que permite alargar el tiempo de vida útil en frutas y productos mínimamente procesados (González y Caraballo, 2016). Su aplicación permite reducir las pérdidas de humedad y retrasar la maduración de los frutos (Krochta, 1997), además estos recubrimientos pueden usarse como soporte de agentes antimicrobianos, los cuales resultan efectivos para reducir el deterioro por microorganismos.

En el presente trabajo se evaluó la aplicación de un recubrimiento comestible, elaborado a base de hidrocoloides adicionado con sorbato de potasio y ácido cítrico como agentes antimicrobianos en superficies de guayaba, de acuerdo con los resultados se encontró que existe una diferencia significativa a partir de la aplicación de películas comestibles, las cuales pueden contribuir con la mejora en la vida útil en periodos de postcosecha cuando se aplica sobre los frutos de la guayaba.

1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 GUAYABA

La guayaba (*Psidium guajava* L.) pertenece a la familia Mirtaceae, esta fue cultivada hace más de 2000 años, pero solo desde hace poco tiempo ha adquirido una gran importancia en la áreas tropicales y subtropicales del mundo, principalmente por su alto contenido de ácido ascórbico y por lo rentable de su cultivo. Por su composición nutricional, la guayaba es una excelente fuente de vitamina C, ya que contiene de 200 a 400 mg por cada 100g de fruto fresco, además contiene vitaminas y, así como importantes minerales como: Ca^+ , Mg^+ , K^+ , Fe^+ , y P^{3-} (Nieto, 2007).

El fruto es una baya esférica, globulosa, elipsoidal o piriforme; sus dimensiones varían enormemente de una variedad a otra. En el exterior presenta un color amarillo verdoso y amarillo claro en su plena madurez, en algunos tipos se distingue un tinte ligeramente rosado (Espinoza, 2015).

El color de su pulpa es muy variable: puede ser blanco, blanco amarillento, rosado, amarillo ó naranja. El mayor componente es el B- cariofileno (95%); se sugiere que este puede desempeñar un papel importante en la producción del aroma. El ácido ascórbico es el compuesto principal de esta fruta; su contenido es mayor en la cáscara que en la pulpa y corazón. En su constitución son importantes algunos ácidos orgánicos; entre ellos se encuentran: láctico, málico, cítrico, galacturónico y fumárico (Parra, 2014). Las semillas son pequeñas, triangulares, comprimidas de color blanco, amarillo claro o café amarillento. Contienen 80% de hierro, por lo cual este elemento no es utilizable. El 9.4% del peso seco de la semilla corresponde a 21 grasas. Dentro de este porcentaje, 79.1% es ácido linoleico; 7.8%, ácido oleico y 3.4% ácido esteárico (Parra, 2014). En el siguiente cuadro se presentan las características químicas de la composición de la guayaba.

Cuadro 1. Composición química de la guayaba

Componentes	%
Agua	77
Proteínas	9.50
Grasa	0.45
Azúcar	8.85
Carbohidrato	2.85
Fibras	8.15

(Parra, 2014)

Por la perecibilidad del producto y su delicadeza para el manejo, tanto productores como expertos estiman que la merma física del producto en la cosecha y la comercialización son del orden del 20% (ASERCA, 2010). Cabe señalar que la disponibilidad del producto en el mercado es casi todo el año, la producción se concentra en los meses de agosto a marzo, siendo los meses de mayo y junio los de menor oferta. La mayoría de las familias lo consumen en fresco como fruta de mesa o para refrescos caseros. Esto significa que cerca del 87 % de la producción nacional se consume directamente en fresco, de los cuales el 65 % se concentra en la central de abastos de México, 20% en la de Guadalajara, 10 % en Monterrey y el 5% restante en otros centros (ASERCA, 2010).

El comercio mundial de la guayaba se da principalmente en los países que se encuentran en zonas tropicales y subtropicales, los países productores destinan la mayor parte de su producción para consumo interno.

A nivel nacional, la guayaba se produce de manera comercial en 19 estados, aunque se considera que existe producción silvestre no contabilizada en por lo menos otras 11 entidades del país.

En el cuadro 2 se muestra la producción nacional de guayaba, cabe señalar que el cultivo de la guayaba se concentra en tres estados: Michoacán, Aguascalientes y Zacatecas.

Cuadro 2. Producción nacional de guayaba

Estado	Superficie (Ha)		Producción (Ton)
	Sembrada	Cosecha	Obtenido
Aguascalientes	6,268	6,187	9,819
México	882	834	9,004
Michoacán	9,449	9,186	13,716
Zacatecas	3,040	3,040	4,964

(SAGARPA 2014)

El comportamiento postcosecha está influenciado por las características varietales, la edad de la planta y por las condiciones climáticas y de cultivo a que hayan estado expuestos, a continuación se presentan descripciones bioquímicas de la guayaba.

1.1.1 Tasa de producción de etileno

La guayaba es una fruta climatérica cuyas características se presentan dentro de los primeros cinco o seis días de cosecha, en éste periodo cuando se sufren los cambios más severos. Las tasas de respiración y producción de etileno dependen del cultivar y del estado de madurez fisiológica y de consumo. La producción de etileno a 20°C varía de 1 a 20 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$. El etileno a 100 ppm por 1-2 días puede adelantar la maduración de las guayabas del estado verde maduro al completamente amarillo a 15-20°C (59-68°F) y 90-95% de humedad relativa. Este tratamiento da lugar también a una maduración más uniforme, característica que es más importante en las frutas destinadas al procesamiento. Las guayabas verde-inmaduras (sin madurez fisiológica) no maduran apropiadamente y adquieren una textura o consistencia pastosa (Espinoza, 2005).

1.1.2 Índices de calidad postcosecha

Si el fruto no se consume pocos días después de su corte, fácilmente se descompone. En la actualidad, una gran proporción de las cosechas no llega al consumidor en buenas condiciones.

La calidad del fruto se considera de acuerdo a su textura, color sabor, limpieza exterior y tamaño. Los frutos de guayaba, se clasifican de acuerdo a una norma, que para el caso de México es la: NMX-FF-040-SCFI-2002, en el caso del consumo de fruta fresca en el siguiente enlistado se muestran las características de calidad del fruto de la guayaba.

A continuación se presentan algunas de las características de índice de calidad postcosecha en la guayaba.

- Olor buen indicador de madurez (carnosa, rugosa o lisa).
- Tamaño y forma (Su peso varía desde 25 hasta más de 500 g, ovoide o redonda).
- Ausencia de defectos, insectos y pudrición.
- Firmeza y grado de arenosidad debido a la presencia de células pétreas.
- Color de la pulpa, depende del cultivar (blanco, amarillo o rosa).
- Cantidad de semillas en la pulpa (entre más baja mejor) Las semillas son ortodoxas, redondas de 3 a 5 mm.
- Sólidos solubles (4.5-10) y acidez (3.9-4.6).

Otros índices de calidad postcosecha son aspectos químicos como los sólidos solubles totales mayores a 12 °Brix como un índice de madurez en un cultivar destinado a la producción de frutos para consumo en fresco. A su vez aspectos físicos como la relación entre la fuerza necesaria para desprender el fruto y su crecimiento y composición. La fuerza de separación menor de 4 kg debe esperarse que el fruto tenga una pulpa con un pH de 3.0 y menos de 16 meq/100g de acidez titulable de peso fresco y con un mínimo de 6 °Brix.

1.1.3 Cambios asociados a la maduración

Los fenómenos que se producen durante la maduración y senescencia son la respiración, el endulzamiento, cambios en la textura, aroma, producción de compuestos volátiles, cambios en la coloración, y disminución del valor nutritivo (Bashir *et al.*, 2003).

Sin embargo, la velocidad y naturaleza del proceso de maduración difiere significativamente entre las especies de frutas, cultivos, diferentes estados de madurez de la misma variedad y también entre zonas de producción (Bashir *et al.*, 2003).

La maduración de las frutas va unida a una variación del color. La transición de color más habitual durante la maduración es de color verde en los estados más inmaduros a otro color dependiendo del fruto. Este cambio está relacionado con la descomposición de la clorofila, quedando al descubierto pigmentos coloreados como los carotenoides y las antocianinas, donde se aumenta la producción de pigmentos rojos y amarillos característicos de las frutas maduras. La formación de otros pigmentos como las antocianinas suele ser activada por la luz. Durante la maduración también se producen compuestos volátiles como ésteres alifáticos e hidrocarburos terpénicos que son los que proporcionan a cada fruta su particular aroma (González *et al.*, 2017). Además, es bien conocido que el contenido de azúcares y de sólidos solubles totales aumentan durante la maduración, mientras que la acidez titulable y el contenido de fenoles totales disminuye en algunas frutas tropicales (Bashir *et al.*, 2003).

La maduración de las frutas está ligada a complejos procesos de transformación de sus componentes. Cuando los frutos son cosechados quedan separados de su fuente natural de nutrientes, pero sus tejidos aún respiran y siguen activos.

Los azúcares y otros componentes sufren importantes modificaciones produciéndose energía, CO₂ y H₂O. Estos procesos tienen gran importancia porque influyen en los

cambios que se producen durante el almacenamiento, transporte y comercialización de las frutas, afectando también en cierta medida el valor nutritivo y la rentabilidad del fruto (Pérez *et al.*, 2008).

Otro proceso importante metabólico asociado a la maduración de frutas es la transpiración. La transpiración es el proceso por el cual se pierde agua en forma de vapor a través de aberturas microscópicas en la epidermis de la fruta y constituye la causa principal de pérdida de peso. A medida que el proceso de transpiración avanza la apariencia del fruto se deteriora, al igual que su elasticidad y resistencia mecánica, volviéndose blando y marchito reduciendo su valor comercial y su susceptibilidad a sufrir daños mecánicos y ataques de patógenos (Parra, 2014).

La transpiración del fruto depende de la temperatura del ambiente en el que se almacene, métodos apropiados como control de la humedad relativa, la temperatura de almacenamiento y un empaque efectivo que permita la permeabilidad de los gases, pueden ayudar a minimizar las pérdidas postcosecha asociadas a la transpiración (González *et al.*, 2017).

La intensidad respiratoria de un fruto depende de su grado de desarrollo y se mide como la cantidad de CO₂ (mg) que desprende 1 Kg de fruta por hora de almacenamiento. Durante el crecimiento de la fruta se produce en primer lugar un incremento de la intensidad de la respiración, que va disminuyendo lentamente hasta el estado de máximo desarrollo o madurez fisiológica. La medida de la intensidad respiratoria y el patrón respiratorio de cada fruto sirve para clasificarlo como fruta climatérica o no climatérica (Bhande *et al.*, 2008, Parra, 2014).

1.1.4 Principales causantes de los daños de la guayaba

Para el caso de la guayaba, los daños mecánicos son muy determinantes en la calidad del producto, daños que en ocasiones es imposible detectarlos a simple vista, pero a

medida que el fruto vaya terminando su vida de anaquel se obtiene pérdida de calidad que repercute en cuestiones económicas. Los principales causantes de los daños en los frutos agrícolas, pueden ser térmicos, biológicos físicos y mecánicos, para el caso de daños mecánicos, estos pueden dividirse de la siguiente manera:

Impacto: Que ocurre durante la cosecha y las siguientes operaciones de manipulación cuando un fruto se golpea contra una superficie. Muchas veces estos daños resultan de los golpes en los contenedores o en los empaques.

Compresión: Al igual que el anterior provoca magulladuras o fracturas que se manifiestan generalmente entre frutos al meterlo al contenedor, o por cargas excesivas cuando se transporta a granel sometándolo a presión excesiva.

Abrasión: Producto del rozamiento entre los frutos y que se manifiesta con el levantamiento, separación o remoción de la epidermis.

Por vibración: La causa del daño se debe a la repetitiva fatiga a la que se somete al material, teniendo como resultado la ruptura en el fruto.

La descomposición de los alimentos no es diferente a lo que le ocurre a cualquier otro ser vivo. La descomposición de origen vegetal comienza con su reducción a formas más simples, podemos diferenciar dos tipos: la degradación de sustancias por procesos físicos o químicos (abiótica) y la ruptura metabólica en componentes más simples por la acción de organismos vivos (biótica) (García, 2012).

Los principales responsables de la descomposición de los alimentos biológicamente son las bacterias y los hongos (organismos vivos), éstas están presentes en todos los organismos y provocan o catalizan reacciones químicas que implican cambios en la textura o composición del alimento (García, 2012). El deterioro de la frutas comienza en el cultivo, en la misma planta donde se desarrolla. Son innumerables y variadas las

plagas que las invaden, éste tipo de manejo favorece reacciones fisiológicas de deterioro, y en la mayoría de los casos facilitan la contaminación microbiana.

Los microorganismos producen daños irreversibles en las frutas, los cuales se detectan fácilmente por el cambio producido en una o más de sus características sensoriales, es decir su apariencia, aroma, color, sabor y textura.

El tipo de microorganismo invasor y la velocidad de desarrollo en las frutas o sus derivados, están determinados por varias condiciones relacionadas con las condiciones ambientales y las características de estos productos que le servirán de alimento, a continuación se describirán los microorganismos presentes que causan el principal deterioro de la guayaba.

1.2 Enfermedades que afectan a la guayaba (*Psidium guajaba*)

La guayaba es una de las plantas más cultivadas en los trópicos; sin embargo, es afectado por muchas enfermedades de la pudrición de la fruta. Las enfermedades de la fruta disminuyen la posibilidad de comerciar la fruta fresca y la fruta para su procesamiento (González, *et al.* 2002).

Con el avance de la maduración, la guayaba se vuelve más susceptible al ataque de patógenos debido a la disminución de la resistencia de la epidermis y de la pulpa (Azzolini *et al.*, 2005). Según Droby *et al.* (2011) la composición y el bajo pH de algunas frutas hacen que éstas sean sensibles a alteraciones originadas por hongos, bacterias, virus y parásitos, sobre todo si la humedad, la temperatura y el tiempo no son los convenientes, llegando a afectar la fruta, tanto en la producción como en su almacenamiento. De manera específica los hongos son causa de numerosas y frecuentes alteraciones y problemas referidos al aspecto, valor nutricional, características organolépticas y dificultad de conservación de las frutas y hortalizas, así

como a los trastornos patológicos, alérgicos y tóxicos en los consumidores (González, *et al.* 2002).

En México la información sobre los microorganismos en guayabo resulta escasa, sin embargo algunos estudios muestran que la pérdida por acción microbiológica va del orden del 12 % de la producción total. Uno de los índices de cosecha es el patrón de respiración en el que la guayaba es catalogada por la mayoría de los autores como un fruto climatérico (Yam Tzec *et al.*, 2009), en Aguascalientes se reportan dos enfermedades del fruto: clavo de la guayaba y la antracnosis (González, *et al.* 2002).

1.2.1 *Pestalotiopsis psidii*

Pestalotiopsis es la enfermedad más importante y limitante; ésta afecta frutos, hojas y brotes, es causada por el hongo *Pestalotia spp.* (Pereira, 2000) y/o *Pestalotiopsis spp.* (Keith *et al.*, 2006). Los primeros síntomas visibles de la enfermedad inician con pequeñas manchas de color café, que se desarrollan con el tiempo hasta formar costras de textura corchosa en la superficie del fruto con la apariencia de la cabeza de un clavo oxidado, las lesiones coalescen hasta formar una gran lesión que cubre parte de la superficie del fruto llegando hasta la pulpa y puede finalmente deformarlo.

La incidencia del hongo causante de esta enfermedad se ve favorecida por la presencia de alta humedad, la infección inicia con puntuaciones negras, posteriormente crecen de tamaño, ennegrecen y finalmente se desarrolla corcho alrededor de la mancha. El daño en el fruto se presenta como pequeñas manchas coriáceas de color café y forma circular, de consistencia costrosa, con la apariencia de la cabeza de un clavo oxidado, por esto el nombre de la enfermedad, (Solarte 2014).

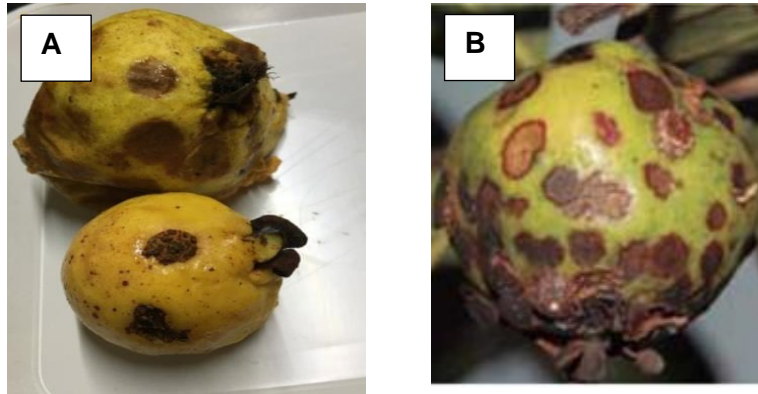


Figura 1. Estados iniciales de *Pestalotiopsis psidii*

El clavo se presenta con mayores severidad consecuencias en condiciones de humedad y temperatura altas; Keith *et al* (2006), encontraron que las lesiones sobre los frutos del guayabo (**Figura 1**) se forman a temperaturas entre 25 y 35°C y humedades relativas entre 80 y 100%. (Solarte, 2014). Su principal daño es en el huerto, transporte, almacén o en el mercado, la falta de aireación en los huertos favorece la infección. El hongo sobrevive en brotes tiernos, frutos momificados, ramas y hojas afectadas. La infección más severa se presenta durante los meses de junio, julio y agosto que es cuando se presenta la época de lluvias (Solarte 2014).

En la actualidad el uso de biofungicidas a partir de extractos ya ha sido reportado por investigadores como alternativa al control de hongos fitopatógenos en diferentes cultivos, Parada (2005), encontró muy buen control por parte del extracto con hojas de eucalipto para *Pestalotiopsis* en guayaba; sin embargo las técnicas de conservación no son lo suficientemente estudiadas para la inhibición fúngica.

1.2.2 *Collectotrichum gloeosporioides*

Otra enfermedad importante en la guayaba es el *C. gloeosporioides* (*Antracnosis*) es un *Deuteromycota* que pertenece a la clase de los *Coelomicetos* y al orden *Melanconiales*. Fue descrito como *Gloesporium pestis* Masee (Masee, 1908). Es un importante patógeno vegetal que causa considerables pérdidas económicas en el cultivo de una gran variedad de frutos como la papaya, variedades de cítricos como mandarina, guayaba, toronja, así como el aguacate, café, mango, uva, guanábana, tomate, fresa. Puede atacar raíz, tallo, hojas, flores y fruto; causando la enfermedad llamada infección quiescente (o infección latente), antracnosis. Esta infección se presenta en estadios tempranos del desarrollo del fruto, pero la enfermedad aparece luego en etapas cercanas a la maduración como se muestra en la **Figura A** (Cifuentes *et al.*, 2006).

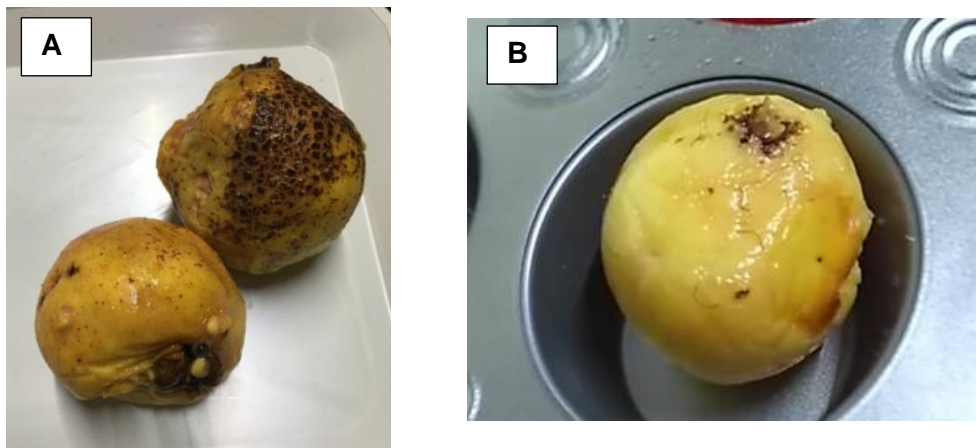


Figura 2. Estados iniciales de *Collectotrichum gloeosporioides*.

En los últimos años se han registrado y reportado datos de *Collectotrichum gloeosporioides* (antracnosis) en frutos de guayabo, estudios reportados este tipo de lesiones microbiológicas causa aproximadamente un 25% de pérdida de producción de guayaba, las principales condiciones de temperatura y esporulación es de 26°C a 32°C. Son sensibles a la humedad relativa, requiriendo condiciones entre 99% y 100% (Cifuentes *et al.*, 2006), en éstas condiciones meteorológicas comienza a observarse manchas más o menos oscuras a modo de “chorreo” que posteriormente comienza el

ablandamiento de la piel del fruto así como se muestra en la Figura 2, **imagen B**, hasta en la actualidad el fruto dañado por esta enfermedad se deshecha y este representa el 20% de merma física (Gutiérrez 2002, González, *et al* 2002)

1.2.3 Técnicas de conservación

Las frutas y las hortalizas son productos altamente perecederos hasta un 23%, éstos se pierden debido a deterioros microbiológicos y fisiológicos, pérdida de agua, daño mecánico durante la cosecha, envasado y transporte o a las inadecuadas condiciones de traslado. Estas pérdidas ascienden a más del 40-50% en las regiones tropicales y subtropicales (FAO 2012), sin embargo para mantener esta calidad en los alimentos que se van a consumir después, se los puede conservar con frío, calor, conservantes químicos o una combinación de estos métodos añadiendo antioxidantes, antimicrobianos etc.

A continuación, se describen las técnicas de conservación frecuentemente aplicada a frutas y hortalizas.

Refrigeración

El tratamiento más efectivo para prolongar la vida útil postcosecha de productos agrícolas es el almacenamiento a baja temperatura (Parra *et al* ,2008) de 8.3°C a 10°C con 85-90% de humedad relativa, puede prolongar la vida del fruto almacenado durante dos a cinco semanas. Las guayabas en plena madurez de consumo son menos sensibles al daño por frío que las que se encuentran en estado verde-maduro y se les puede conservar hasta por una semana a 5°C sin mostrar síntomas de esta fisiopatía (Miramont, 2012).

Una de las consecuencias de la refrigeración es el daño por frío ya que la temperatura de almacenamiento afecta el comportamiento fisiológico y bioquímico de los frutos, de tal manera que a bajas temperaturas se retarda el proceso de maduración postcosecha, el cual se manifiesta por disminución de la intensidad respiratoria, retardo

en la pérdida de firmeza del fruto y en los cambios correspondientes a sólidos solubles, acidez titulable y pH. Los síntomas de daño por frío en guayabas (pardeamiento de la corteza, desarrollo de picaduras en la superficie de la fruto y desecación), normalmente aparecen después de dos semanas almacenadas a 5°C (Parra et al ,2008).

Modificación de la cantidad de agua

Los alimentos que contienen poca cantidad de agua, pueden ser bien conservadas. Esto se debe a que la mayoría de los procesos en un ser vivo se realizan en medio acuoso, o utilizando agua como parte de las reacciones. La reducción de la cantidad de agua entonces, es una forma de estabilización del alimento frente a la actividad nociva de enzimas y microorganismos. Los métodos se dividen en desecación (cuando la humedad del alimento se disminuye hasta equilibrarla con la del ambiente) y deshidratación (cuando la eliminación es casi total) (Bello, 2000).

Atmosferas controladas (AC) y sus efectos

La Atmosfera modificada es la disminución del O₂ y aumento de CO₂, ésta técnica se usa frecuentemente en cámaras frigoríficas cuyo diseño, son similares a los de una cámara convencional, se consigue aumentar el periodo de conservación de los productos para periodos mayores a los establecidos, éste método presenta ventajas que conserva frutos sensibles. Los pocos estudios que se han hecho en guayaba indican que las concentraciones del 2 al 5% de oxígeno a una temperatura de 10°C pueden retrasar la maduración de las frutas en estado verde-maduro y con madurez parcial de consumo. No se han determinado las tolerancias a las altas concentraciones de bióxido de carbono (Kader 2002),

Conservación por efecto del calor

La aplicación de calor es un método basado en el empleo de altas temperaturas que produzcan la muerte de bacterias y otros microorganismos. La pérdida de agua es una de las causas más importantes de deterioro porque de esto se da como resultado no solamente pérdidas cuantitativas directas como pérdida de peso, pero también pérdidas en la apariencia como marchitamiento y deshidratación, la calidad de la textura como ablandamiento, flacidez y pérdida en jugosidad, así como su valor nutricional (Parra *et al* ,2008). El pardeamiento externo (piel) e interno (pulpa), se debe a las temperaturas “altas” a las que se somete el fruto, que va de las operaciones de manejo desde el campo hasta el consumidor. Los síntomas incluyen abrasiones y pardeamiento de las áreas magulladas (Parra *et al* ,2008).

Nuevas tecnologías

La demanda creciente de productos alimenticios con características propias de productos frescos, ha introducido nuevas tecnologías en el ámbito de la conservación de alimentos. Así, el uso de radiaciones, tanto ionizante (irradiación), como no ionizante (microondas), altas presiones, campos eléctricos, magnéticos, etc. Estas tecnologías se aplican también al envasado (atmósferas modificadas y controladas, vacío) y almacenamiento (Bello, 2000).

Se han probado muchos productos, métodos, pero sin embargo la maduración no se puede retrasar por mucho tiempo sin que disminuya la calidad del fruto. Srivastava *et al.*, (2003) señalan que tratando a la guayaba con algunas tecnologías de conservación en fresco se puede prolongar su vida durante ocho días en temperatura ambiental (22.2°C a 30°C y 40 a 60% de HR), y 21 días en temperaturas bajas (8.3 °C a 10°C y 85 a 90% HR).

La aplicación de técnicas que permitan controlar los factores alterantes en frutas y hortalizas frescas cortadas es actualmente el modelo principal de muchas investigaciones en el campo de ciencia y tecnología de los alimentos. Según la Food and Drug Administration de EEUU (FDA, 2006), los recubrimientos comestibles son aquellos formados a partir de formulaciones que contengan aditivos permitidos para su uso alimentario

1.3 El futuro de los recubrimientos comestibles

Sin duda uno de los avances de mayor interés actual y perspectivas de futuro es la utilización de polímeros comestibles y biodegradables obtenidos a partir de macromoléculas de origen natural. Aunque el uso de biopolímeros parece algo novedoso, la realidad es que ya se empleaban en la antigüedad, aunque quizás con otra perspectiva. Durante los siglos trece y catorce, ya se practicaba en China el recubrimiento de naranjas y limones por inmersión en ceras para retardar la pérdida de agua, en Estados Unidos se empezó a utilizar comercialmente la cera en naranjas y manzanas para mejorar su presentación y calidad, reducir la pérdida de agua o aplicar fungicidas superficiales para retardar sus modificaciones (Cagri *et al.*, 2004).

En el futuro, la aplicación de recubrimientos comestibles será uno de los métodos más efectivos para alargar la vida útil de las frutas y hortalizas. En la actualidad aunque la aplicación de la tecnología no está muy extendida, se espera que se extienda a toda clase de productos, tanto frescos como tratados (secos, rehidratados). Su aplicación permitirá, en algunos casos, la eliminación de los envases tradicionales y por tanto, mejorará el impacto medioambiental al generar menos materiales de desecho.

La tendencia se centrará en el desarrollo de recubrimientos con componentes bioactivos que permitan alargar la vida útil y mejorar la calidad de los productos. Estos recubrimientos podrían actuar ralentizando la degradación de los compuestos funcionales tales como, vitaminas, enzimas pro o prebióticos en la matriz del alimento a

través del tiempo. Teniendo en cuenta las preferencias de los consumidores por productos frescos y sin aditivos, estos componentes bioactivos deberán ser preferiblemente componentes naturales (Vargas *et al.*, 2008).

En definitiva, la aplicación de recubrimientos comestibles supone una alternativa de futuro para la conservación de la calidad de frutas y hortalizas. Las investigaciones deben ir dirigidas hacia la obtención de recubrimientos adecuados para cada tipo de producto, de modo que se consiga un control óptimo de la permeabilidad a los gases, de los cambios de color y de textura y en la calidad nutricional de los mismos (Vargas *et al.*, 2008).

Como se mencionó los recubrimientos pueden servir como vehículos para un amplio rango de aditivos, incluyendo compuestos antimicrobianos o antioxidantes con la finalidad de proporcionarles mayores atributos como es el control de microorganismos. Las frutas y hortalizas presentan una vida útil muy corta, entre 5-7 días, debido a limitaciones microbiológicas, sensoriales y nutricionales. En este caso, las investigaciones que se están desarrollando actualmente se centran en incluir en las formulaciones la utilización de conservantes para retardar el crecimiento de levaduras, mohos, y bacterias durante su almacenamiento y distribución, contribuyendo así a aumentar su vida útil.

Entre los antimicrobianos más utilizados en la industria alimentaria son el sorbato de potasio y el ácido cítrico que más adelante se estudiarán. Se tiene amplia evidencia que antimicrobianos presentan inhibición contra hongos y bacterias, se prolonga la vida de anaquel de los productos agrícolas, y se mantienen las propiedades sensoriales de éstos.

1.4 PELÍCULAS COMESTIBLES

La película comestible se definen como una capa delgada de polímero que puede ser consumida y empleada en la superficie de un alimento, puede aplicarse como capas continuas entre los diferentes componentes o bien utilizarse como cubierta durante su elaboración (Ribeiro *et al.*, 2007).

Estas pueden formarse a partir de biopolímeros que tengan la propiedad de formar películas como los polisacáridos, proteínas y lípidos, los cuales deberán ser previamente dispersos y disueltos en un disolvente, generalmente agua, para posteriormente ser vertidas y secadas a la temperatura deseada para obtener el material de empaque (Espinoza, 2015).

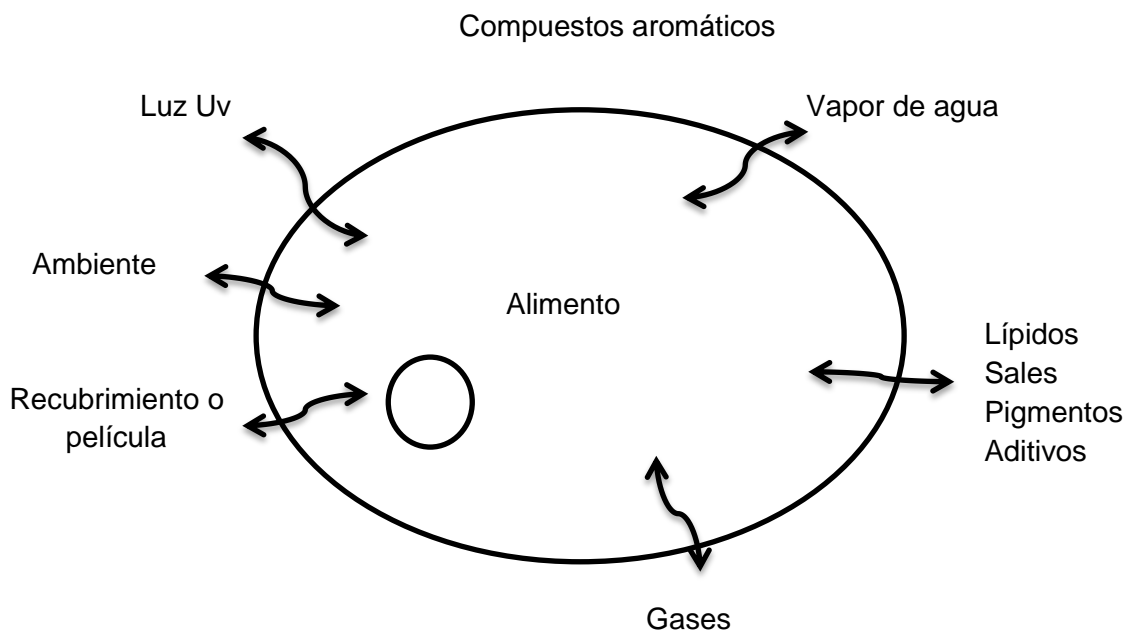


Figura 3. Funciones selectivas de las películas comestibles (Debeaufort *et al.*, 1998)

Las películas comestibles se definen como una o varias capas delgadas de un material que puede ser consumido por los seres vivos y que a la vez pueden actuar como barrera a la transferencia de agua, gases y solutos de alimentos (Guilbert, 1986). Krochta *et al.*, (1994) definen a las películas comestibles como capas continuas y delgadas, de material comestible formada sobre (como cubierta) o colocada entre los componentes de los alimentos, y proveen un medio para acarrear ingredientes de los alimentos o aditivos y mejoran el manejo de los mismos. Las propiedades que ofrecen las películas comestibles dependen de los componentes de los cuales estén elaborados (Krochta *et al.*, 1994). Las películas pueden estar compuestas por: 1) proteínas (gelatina, caseína, etc), 2) celulosa, almidón o materiales con base en dextrina, 3) alginatos y gomas, 4) ceras, lípidos o derivados de los monoglicéridos y 5) la mezcla de cualquiera de estos grupos (Guilbert, 1986).

Requerimientos para el uso de películas comestibles.

Las películas comestibles deben funcionar como barreras selectivas a la transferencia de humedad y gases, además de evitar la oxidación de lípidos y la pérdida de compuestos volátiles responsables de aromas y sabores de ciertos alimentos. Deben estar formulados con compuestos de grado alimenticio y además cumplir con costos relativamente bajos de producción; los materiales probados para la formación de películas incluyen proteínas, polisacáridos y lípidos (Courtney *et al.*, 2012). Se sugiere que las películas comestibles deben poseer las siguientes características; (Courtney *et al.*, 2012).

- Capacidad sensorial.
- Costos bajos.
- Disponibilidad.
- Atributos funcionales.
- Propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad).
- Propiedades ópticas (brillo y capacidad).

- Su efecto de barrera frente al flujo de gases.
- Resistencia estructural al agua.
- Pueden regular distintas condiciones de interfase o superficiales del alimento, a través del agregado de aditivos como antioxidantes, agentes antimicrobianos y nutrientes.

Las películas comestibles pueden ser elaboradas a partir de una gran variedad de polisacáridos, proteínas y lípidos, solos o en combinaciones que logren aprovechar las ventajas de cada grupo, dichas formulaciones pueden incluir, conjuntamente plastificantes y emulsificantes que se utilizan de diversa naturaleza química con la finalidad de ayudar a mejorar las propiedades finales de la película. Las mismas presentan bondades como comestibilidad, dureza, transparencia, buenas propiedades de barreras contra el oxígeno y vapor de agua (Ribeiro *et al.*, 2007).

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

1.4.1 Películas comestibles a base de hidrocoloides

Son polímeros hidrofílicos (contiene grupos oxhidrilos -OH) de origen vegetal, animal o microbiano. Producen un elevado aumento en la viscosidad y en algunos casos tienen efectos gelificantes porque se disuelven y dispersan fácilmente en agua; se utilizan como aditivos con el fin de espesar, gelificar o estabilizar. Un hidrocoloide es una sustancia soluble o dispersable en agua, este término se aplica generalmente compuestos de tipo polisacáridos y proteínas (Ribeiro *et al.*, 2007).

Por lo consiguiente existe una amplia variedad de biopolímeros naturales como los son: polisacáridos, proteínas y lípidos, los cuales son utilizados para la obtención de la solución polimérica y así formar la matriz polimérica; que por último lleva a la elaboración de la película comestible.

1.4.2 Películas comestibles a base de polisacáridos

Los polisacáridos son ampliamente utilizados en la industria alimentaria como estabilizantes, espesantes y gelificantes; gracias a sus propiedades formadoras de matriz polimérica estos compuestos se emplean en la elaboración de películas comestibles; los polisacáridos empleados son almidón, derivados de la celulosa, quitosán, pectina, carragenina, goma gelán; estos compuestos tienen la característica de ser polímeros de cadena larga, solubles en agua y producen un aumento en la viscosidad al dispersarse (Santiago-Santiago, 2015).

Los polisacáridos son polímeros que forman redes moleculares cohesionados por una alta interacción entre sus moléculas, estas le confieren buenas propiedades mecánicas y barrera de gases (O_2 , CO_2) por lo que retardan la respiración y el envejecimiento de la naranja; alargando su vida útil. Una desventaja que presentan es que son hidrónicas y por lo tanto constituye una pobre barrera a la pérdida de humedad (Valdés-Fernández y Baño, 2015).

1.4.3 Películas comestibles a base de lípidos

Entre los lípidos más empleados para la elaboración de películas comestibles se encuentran las ceras de abeja, mono glicéridos acetilados, ácido esteárico, ácido láurico y ésteres de ácidos grasos (Santiago-Santiago, 2015).

Los lípidos se caracterizan por ser hidrofóbicos y no poliméricos, presentando excelentes propiedades de barrera frente a la humedad; sin embargo, su falta de cohesividad e integridad estructural hacen que presenten malas propiedades mecánicas formando películas quebradizas, sin embargo, reduce la absorción en la

manipulación posterior y pueden mejorar el brillo y la apariencia de muchos alimentos (Valdés-Fernández y Baño, 2015).

1.4.4 Películas comestibles a base de proteínas

Las proteínas utilizadas en la formación de películas comestibles se dividen en dos grupos de origen animal (caseínas, proteína de suero de leche) y vegetal (gluten de trigo, proteína de soya etc.) y dependiendo de este origen muestran una amplia variedad de características moleculares. Como las proteínas varían en su peso molecular, conformación, carga (dependiendo del pH), flexibilidad y estabilidad térmica y la diferencias en estas características moleculares determinaran su habilidad para la formación de películas (Aguilar-Méndez y San Martin, 2012).

Para la formación de la red macromolecular proteica consta de tres pasos: **1)** La ruptura de los enlaces intermoleculares de baja energía los cuales estabilizan a los polímeros en su estado nativo. **2)** El reordenamiento y orientación de las cadenas poliméricas y **3)** La formación de una estructura tridimensional estabilizada por nuevas interacciones y enlaces. La proteína que utilizo para la solución formadora de películas comestibles es la proteína de suero de leche (WPI); debido a que está formada por diferentes proteínas individuales, la cual está constituida principalmente por β -Lactoglobulina; por ello se utiliza por presentar buenas propiedades de barrera al oxígeno, a los lípidos y a los aromas (Aguilar-Méndez y San Martin, 2012).

1.4.5 Películas a base de proteínas y polisacáridos

Las proteínas y polisacáridos son polímeros que forman redes moleculares cohesionadas por una alta interacción entre sus moléculas, estas les confiere buenas propiedades mecánicas y de barrera a gases (O_2 y CO_2), por lo cual retardan respiración y envejecimiento de muchas frutas y hortalizas (Eric, 2009).

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

Los polisacáridos son los hidrocoloides más utilizados en la industria alimenticia, ya que forman parte de la mayoría de las formulaciones que actualmente existen en el mercado. Sin embargo, una desventaja que presentan es que son hidrofóbicos y por lo tanto, constituyen una pobre barrera a la pérdida de humedad. Es importante mencionar que estas películas la mayoría de las veces son fuertes, de color claro, resistentes relativamente al paso del agua, y no se ven afectadas por aceites, grasa o solventes orgánicos no polares (Hernández, 2004).

Por lo tanto los polisacáridos utilizados en la formación de películas comestibles son: las pectinas de alto y bajo metoxilo, la celulosa y sus derivados, el alginato, el quitosano, la dextrina, el carragenato, y las goma arábiga, entre otros, posteriormente se mencionará las propiedades de cada una de las diferentes formulaciones de películas comestibles (Krochta y Mulder-Johnston, 1997).

1.4.6 Películas a partir de mezclas entre biopolímeros

Las películas comestibles deben ser heterogéneas por naturaleza. Se pueden hacer mezclas de polisacáridos, proteínas y/o lípidos. Al mezclar los componentes se tiene la habilidad de utilizar las distintas características funcionales para cada clase de formación de la película. Gilbert (1986) define los sistemas multicomponentes como: dos o más componentes que se mezclan con el propósito de complementarse y

aumentar su capacidad. Las combinaciones que se hicieron primero, fueron de materiales altamente poliméricos, ejemplos: almidones con alginatos, gomas con almidón y pectinas con gelatinas (Hernández, 2004).

Una de las propiedades que se buscan mejorar, son las propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas de películas comestibles dependen del tipo de material utilizado y especialmente de su cohesión estructural, la cual es el resultado de la habilidad del polímero para formar fuertes y/o numerosos enlaces moleculares entre cadenas poliméricas, dificultando así su separación (Guilbert *et al.* 1986).

Mezcla de polisacáridos y sus características

El objetivo de mezclar polímeros con diversas estructuras físicas y químicas, compatibles parcialmente o totalmente incompatibles, en proporciones adecuadas, en general se debe a la búsqueda de la optimización de las propiedades de los componentes, para dar un producto final que tenga mejor funcionalidad o costo menor que los de los componentes individuales, o, en algunos casos, para producir nuevos materiales para fines específicos (Cazacu *et al.*, 2005). En el caso de los polisacáridos, las interacciones polímero-polímero o polímero-solvente determinarán las propiedades del sistema resultante.

En los casos de geles binarios de polisacáridos, pueden ser propuestos cuatro modelos esquemáticos de la red del gel. Aunque simples, estos modelos constituyen la base para establecer ciertas relaciones entre el gel mixto y sus componentes. Estos modelos de geles han sido denominados como: redes hinchadas, redes de interpenetración, redes de fase separada y redes acopladas (Miramont, 2012).

- Redes hinchadas

Éste tipo de gel se da en mezclas de un polisacárido gelificante y otro no gelificante, o las mezclas de dos polisacáridos gelificantes bajo condiciones donde sólo uno de los polímeros es inducido a formar gel (**Figura 4**). Los polímeros no gelificantes se considera que residen dentro e hinchan la red de gel.

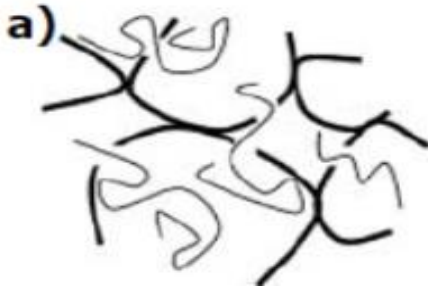


Figura 4. Red hinchada Miramont, 2012..

Este tipo de estructura sólo es probable que ocurra si la tasa de des-mezclado de los dos polisacáridos es baja en comparación con la tasa de gelificación, tal que el polímero no gelificante se distribuya bastante uniformemente dentro de la red de gel.

- Redes de interpenetración

Se considera que constan de dos redes poliméricas de espacio de llenado independientes que se inter-penetran una con la otra (**Figura. 5**). La obtención de redes verdaderas de interpenetración a nivel molecular es poco probable, debido a la tendencia de los polisacáridos a formar fases separadas. Sin embargo, para mezclas de polisacáridos cargados y no cargados puede ser inhibida la separación de fase.

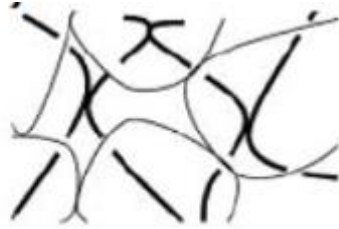


Figura 5. Red de interpenetración Miramont, 2012

- Redes de fase separadas

Una solución diluida bajo condiciones de equilibrio ha mostrado que, polisacáridos incluso químicamente muy similares, presentarán fases separadas (**Figura 6**).

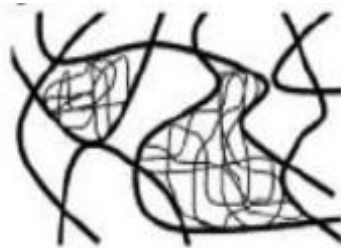


Figura 6. Red de fases separadas Miramont, 2012.

- Redes acopladas

Están formadas por mezclas de polisacáridos bajo condiciones donde los componentes individuales por si solos no forman gel, pero las mezclas sí lo hacen. Los mecanismos para gelificación son aún controvertidos pero hay evidencia considerable en todos los casos de que algún tipo de enlace intermolecular entre los dos polisacáridos contribuye a la formación de una red permanente, tal como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Red acoplada Miramont, 2012

Clasificación de las películas comestibles.

En la **Figura 8** se presenta la clasificación de las películas comestibles en función de las características químicas de los componentes en la formulación, el esquema se expresa como las películas comestibles pueden agruparse en función de la base polimérica utilizada que son hidrocoloides, lípidos y compuesto. Los hidrocoloides se refieren a polisacáridos (almidón, celulosa, fibra, gomas y quitosano) y proteínas (suero, gelatina y soya). Los lípidos incluyen ácidos grasos, resinas y ceras (abeja, carnauba y parafina). Por último, el tipo de compuesto utilizado determinara las propiedades de la película comestible (Valdés-Fernández y Baño, 2015).

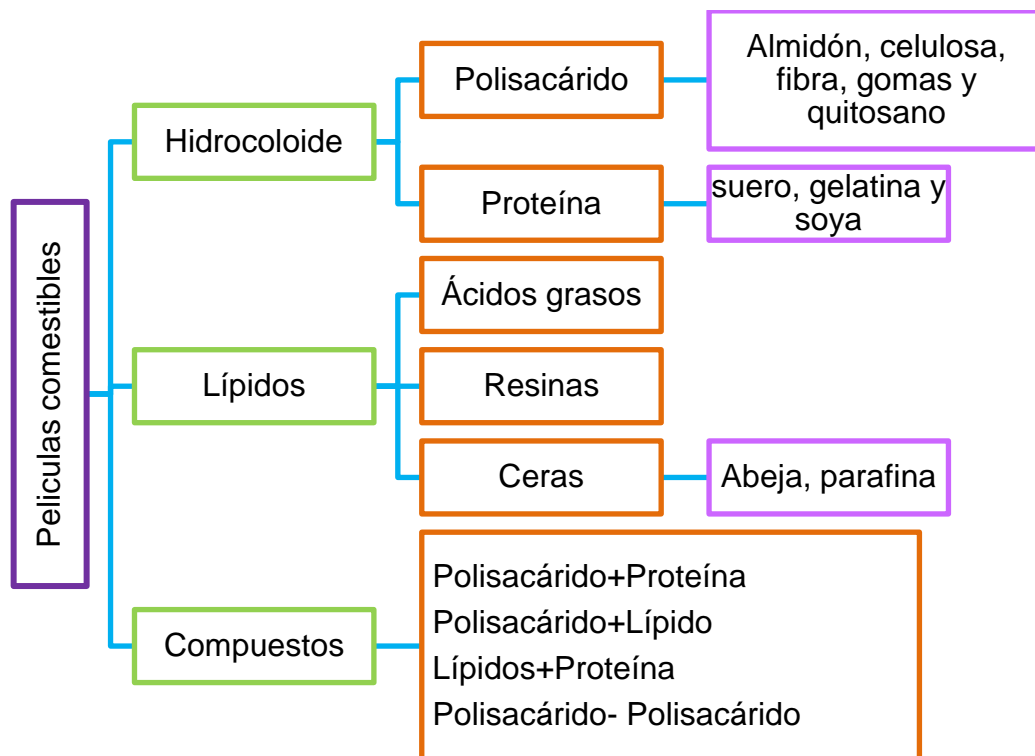


Figura 8. Clasificación de películas comestibles aplicadas en los alimentos.

1.5 Materiales formadores de las películas comestibles

1.5.1 Plastificantes

Un plastificante es una sustancia estable, no volátil con alto punto de ebullición, la cual contribuye al cambio de propiedades físicas y mecánicas de un material al ser adicionada a éste (McHugh y Krochta, 1994a). La adición de un plastificante permite la obtención de una película más flexible, dócil y resistente (Guilbert y Biquet, 1995). La incorporación de plastificantes disminuye las fuerzas intermoleculares en las cadenas poliméricas, mejorando la movilidad molecular de los componentes, ya que los grupos polares (-OH), desarrollan puentes de hidrógeno entre el polímero y el plastificante, es importante mencionar que la adición del plastificante en la solución polimérica aumenta la permeabilidad a la humedad de la película resultante (Guilbert y Biquet, 1995).

Los plastificantes más usuales son los polioles y los mono-, di- y oligosacáridos (Cuq *et al.*, 1998). Entre los polioles más usados está el glicerol, propilenglicol, sorbitol, polietilenglicol 200 y polietilenglicol 400. La efectividad de un plastificante depende de tres características importantes; tamaño, forma y compatibilidad con la matriz polimérica (Sothornvit y Krochta, 2001), existen dos mecanismos los cuales generan cambios internos y/o externos; el proceso de plastificación interno es el que va a modificar químicamente la cadena polimérica por medio de la adición de un grupo sustituyente unido mediante un enlace covalente. Por otro lado, el proceso de plastificación externo se produce cuando un compuesto plastificante se intercala en la red polimérica, interactuando físicamente con ella, lo que provoca una disminución en la temperatura de vítrea y aumenta el volumen libre entre las cadenas (Krochta *et al.*, 2002).

1.5.2 Glicerol

El glicerol, o glicerina, es un poliol incoloro, inodoro y soluble en agua, formador de soluciones neutras y aprobadas por la FDA para aplicarse en alimentos sin riesgo alguno. Su fórmula química es $C_3H_8O_3$ (**Figura 8**) y su peso molecular es 92.09 (Badui, 2010)

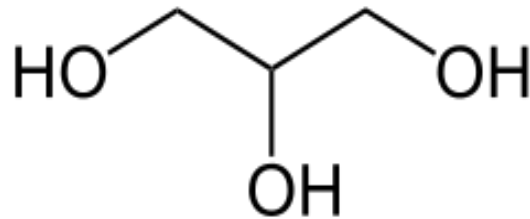


Figura 9. Molécula de Glicerol. Badui, (2012).

El glicerol es el plastificante más utilizado en la elaboración de recubrimientos y películas comestibles, adicionado generalmente a bajas concentraciones, ya que de lo contrario, el plastificante influye negativamente en la permeabilidad de las películas (Badui, 2010)

1.5.3 Alginato de Sodio

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

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

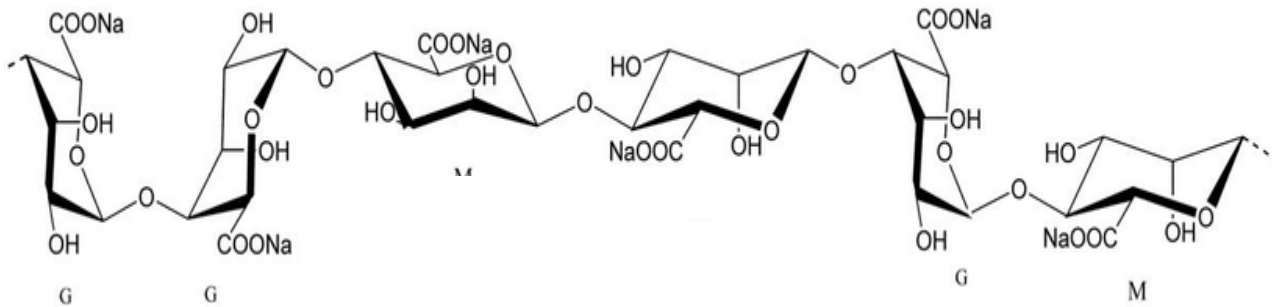


Figura 10. Estructura química del Alginato

Los alginatos pueden utilizarse como recubrimientos comestibles por su capacidad de formar geles en presencia de sales de calcio, de ésta manera el alginato de sodio soluble y las sales de calcio producen un gel de alginato de calcio insoluble; estructuralmente los iones de calcio sustituyen a los iones de sodio de dos moléculas adyacentes para producir un complejo entrecruzado o una red de polímero (Guillén *et al.*, 2010). Las características fisicoquímicas de los alginatos dependen de la fuente natural de procedencia, del método de extracción utilizado y del tipo de catión que los forme (Hernández *et al.* 2011). Los alginatos se degradan por encima de los 50°C en aquellos medios cuyo pH este comprendido entre 5.0 y 9.0. (Bello, 2000).

1.5.4 Generalidades del Alginato de Sodio

Los alginatos son los polisacáridos más abundantes presentes en las algas marinas, comprenden hasta un 40% de su peso seco. Son los componentes estructurales de la pared celular de las algas, cuya función principal es dar rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad de enlazar agua (Hernández *et al.*, 2005).

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

En la actualidad existen diferentes estudios que indican la seguridad del uso de alginatos en los alimentos. Los alginatos de sodio, potasio, calcio y amonio, ácido alginico y el alginato de propilenglicol, son aditivos alimenticios reconocidos como inocuos y seguros, según la *Food and Drug Administration* de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés) (FAO,2001) .

La aplicación de los alginatos se basa en cuatro propiedades principales, la primera concierne a su habilidad como espesantes al ser disueltos en agua, generando un aumento en la viscosidad de la solución en la que se disuelve. La segunda a su capacidad de retener agua. La tercera se debe a su habilidad de formar un gel a partir de una serie de reacciones químicas de intercambio iónico que dan lugar a la formación de enlaces entre las cadenas adyacentes del polímero del alginato; particularmente se realiza un intercambio de iones sodio por cationes divalentes o trivalentes. La cuarta se basa en la propiedad de formar películas (Funami *et al.*, 2009).

Las películas y recubrimientos a base de alginato se han usado para ayudar a conservar diferentes productos mínimamente procesados. Debido a sus propiedades coloidales y a su capacidad de formación de geles al reaccionar con cationes de metales, el alginato de sodio es utilizado para la formación de películas comestibles (Tapia *et al.*, 2007). Su formación se basa en la capacidad que tiene el compuesto para reaccionar con cationes divalentes y trivalentes como calcio, hierro y magnesio, entre otros (Vargas *et al.*, 2008).

1.5.5 Estabilidad de las soluciones de alginatos

El alginato de sodio puro en polvo puede llegar a tener una vida útil de varios meses si se almacena en un lugar seco, fresco y sin exposición a la luz solar. Con respecto a las soluciones acuosas del alginato, su estabilidad se ve limitada por un pH muy ácido o alcalino lo que provoca una reducción severa de la viscosidad, que también se puede apreciar con la presencia de radicales que oxidan al polímero (León, 2014).

También se tiene que considerar que debido a que los alginatos son productos naturales, estos pueden ser atacados por microorganismos. El empleo de tratamientos térmicos y de esterilización también propicia el proceso de despolimerización; se pueden percatar que no solo en la reducción de la viscosidad relativa sino en la pérdida de la resistencia del gel si ha existido la gelificación (León, 2014).

Generación del gel

La aplicación de películas comestibles a base de alginato de sodio se debe a sus propiedades gelificantes, espesantes, también a su capacidad de su estructura molecular para formar una alta interacción entre cadenas adyacentes tras la adiciones de cationes metálicos; esto le confiere la propiedad de soportar estrés mecánico y retener la humedad en productos perecederos, disminuye el pardeamiento enzimático (Méndez-Reyes *et al.*, 2014); como se menciona anteriormente las películas comestibles a base de alginato de sodio ayuda a la disminución del pardeamiento enzimático por ello se utiliza en la naranja con ello se busca que llegue a su maduración y así mejorar su calidad.

Las películas comestibles a base de alginato de sodio presentan características solubles en el agua; estas pueden ser impermeables a la grasa y ceras, pero cabe mencionar que permiten que el vapor de agua pase a través de ellas, son quebradizas cuando están secas, pero se pueden plastificar con glicerol (Avendaño *et al.*, 2013).

Otra de las características que potencia el uso de películas comestibles a base de alginato de sodio en frutos es la capacidad de reducir la tasa respiratoria sin que cause anaerobiosis controlando el crecimiento de microorganismo aerobios (Velázquez-Moreira y Guerrero, 2014).

Cabe destacar que las películas de alginato de sodio tienen menor resistencia al agua que las películas formadas con otros polisacáridos. En un estudio realizado por Fazilah *et al.*, 2011, se demostró que las películas formuladas con alginato de sodio al 1.75% y 15% de glicerol se disuelven en agua al 100%, después de un minuto de contacto. La alta solubilidad de este polisacárido puede ser explicada por la naturaleza hidrofílica, que a su vez causa que las propiedades de barrera al vapor de agua de las películas obtenidas sean reducidas (Tapia *et. al*, 2007). En cuanto a las propiedades mecánicas, las películas de alginato presentan menor flexibilidad que las formadas con otros polisacáridos como CMC y almidón. Sin embargo si las películas son tratadas con cloruro de calcio mediante una inmersión en una solución al 2% durante 1 minuto estas muestran un incremento significativo en la fuerza tensión de 40 a 60 MPa (Fazilah *et al.*, 2011).

Con respecto a la industria hortofrutícola, se ha diversificado el uso del alginato para el desarrollo de películas biopoliméricas con especial aplicación en sistemas de empaque, debido a la creciente preocupación por el uso y disposición de materiales de embalaje de alta persistencia en el ambiente (Méndez Reyes, Quintero Ceró, Vaquiro Herrera, & Solanilla Dique, 2015).

A lo anterior es importante agregar que tanto películas comestibles como recubrimientos comestibles basados en alginato de sodio (AS) pueden tener la capacidad de encapsular, conservar y liberar vitaminas, minerales y aditivos con actividad antifúngica, antibacteriana y antioxidante (Fontes *et al.*, 2008; Miguel *et al.*, 2008; Bierhalz *et al.*, 2012).

Dichos atributos, propios de los sistemas de empaque activo (Han, 2013), dependen del grado de innovación proporcionado a las formulaciones, mediante la interacción con otros hidrocoloides (κ -carragenina, goma de mesquite, pectina, proteína aislada de leche) (Villagómez-Zabala *et al.*, 2008).

Diferentes industrias (alimentaria, textil, farmacéutica, cosmética) utilizan este polisacárido por sus diversas propiedades funcionales, ya que su poder emulsificante, estabilizante y gelificante ha retomado vital importancia en el desarrollo de tecnologías emergentes que comprenden: la generación de barreras en alimentos frescos y de humedad intermedia, apósitos biodegradables en el tratamiento de algunas sintomatologías del ser humano, encapsulación en films de diversas sustancias, entre ellas fitocompuestos, fármacos y enzimas (Liakos *et al.*, 2013; Soukoulis *et al.* 2014).

1.5.6 Goma Guar

Se obtiene del endospermo de la semilla leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus*, su estructura química, está ramificada y la cadena principal consiste en unidades de 1,4-D-manopiranosas unidas y a la cual se le añaden ramas de 1,6-D-galactopiranosas por enlaces, su peso molecular es variado, pero el medio se considera de 220 Kda (Badui, 1993).

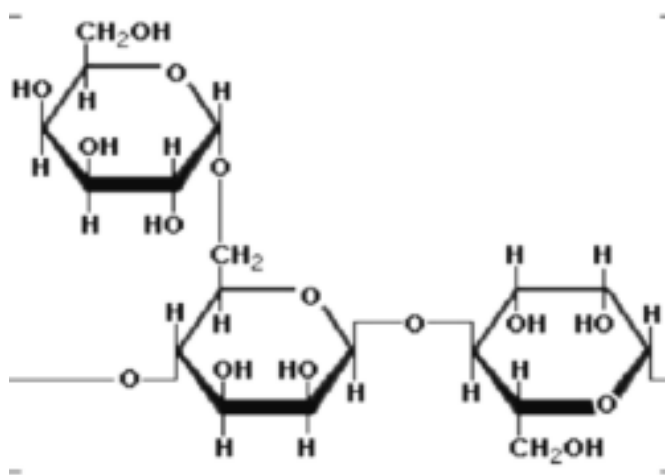


Figura 11. Estructura química de la goma guar

Caracterización fisicoquímica de un recubrimiento comestible a base de hidrocoloides para prolongar la vida útil de guayaba (*Psidium guajaba*)

Es un carbohidrato polimerizado comestible que contiene galactosa y manosa en sus bloques estructurales como se muestra en la **Figura 11**, el rango de dichos componentes varía ligeramente dependiendo del origen de las semillas. Se encuentra disponible en forma de polvo de flujo libre, color blanco o ligeramente amarillo, incoloro.

Carece de grupos ionizables, lo cual la hace prácticamente inalterable a los cambios de pH, ya que es estable en el intervalo 1.0-10.5, pero su máxima capacidad de hidratación se alcanza a pH de 7.5-9, y la adición de altas concentraciones (>5.0%) de sales multivalentes provoca que se produzcan geles.

Al hidratarse en agua fría forma dispersiones coloidales viscosas con características tixotrópicas (Badui,1993). Como consecuencia de su elevada afinidad con el agua la goma guar proporciona una altísima viscosidad en sistemas acuosos o lácticos, incluso en dosis bajas, presentando un comportamiento pseudoplástico (Cuberto *et al* 2002).

1.5.7 Generalidades de la Goma Guar

La goma guar se usa principalmente como agente espesante, presenta la ventaja de ser soluble en frío. Al calentarse, si los tratamientos térmicos son fuertes, pierden en parte su viscosidad. Es poco sensible a los efectos mecánicos y tiene buena resistencia a los ciclos de congelación-descongelación. Presenta muy buena estabilidad cuando los productos se almacenan a temperatura ambiente (Cuberto *et al.*,2002).

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

La aplicación más habitual en alimentos se encuentra en: queso fresco, queso fundido, helado, salsas, aderezos, bebidas, productos de panadería y pastelería (Cuberto *et al.*, 2002). El uso de las gomas en la industria alimentaria es muy vasto: en helados,

confitería, jugos de frutas, cerveza, vinos, mayonesa, queso, mermeladas, aderezos, embutidos, productos dietéticos, etc (Badui, 1993).

1.6 Formas de aplicación de la película comestible

Cualquiera de los procesos de formación expuestos se puede utilizar con variadas técnicas de aplicación. Es importante saber que el modo de aplicación de una película comestible depende en gran medida del tipo de producto que se desee recubrir (Soliva y Martin,2001).

Sin embargo la aplicación directa de la solución formadora de película, sobre el alimento o producto, se puede llevar a cabo por métodos de inmersión, atomización o moldeo

- Inmersión: Es el método más adecuado para productos con superficies irregulares que requieren un recubrimiento uniforme (Baldwin *et al.*, 1997). El producto debe ser lavado y secado previamente, luego se sumerge en la solución del recubrimiento, garantizando un mojado completo. Tras la inmersión, se deja drenar el material sobrante y se procede al secado. Esta técnica es la más utilizada en el recubrimiento de frutas, vegetales y productos cárnicos. (Krotcha *et al.*, 2002).
- Aplicación por atomización (Spraying): Se puede lograr un espesor más delgado y uniforme que con la técnica anterior. Por otro lado, es más adecuado para productos que necesiten ser recubiertos solo en una de sus caras o en uno de sus lados (Miramont,2012)
- Moldeo: Esta técnica permite la obtención de películas independientes que facilitan la caracterización e investigación de sus propiedades, para optimizar los resultados. Consiste en verter la solución formadora sobre una superficie plana y se procede a su posterior secado.Después la película es retirada de la superficie, de forma independiente (Krotcha *et al.*, 2002).

1.7 Propiedades y Características de Películas Comestibles

1.7.1 Propiedades Mecánicas y de Barrera

La fuerza tensil, la elongación y la fuerza de corte son propiedades mecánicas de las películas comestibles que pueden ser usadas para describir el comportamiento del material (Espinoza- Herrera *et al.*, 2011).

Otra propiedad importante de las películas es su función como barreras contra la humedad ya que se busca que las películas comestibles disminuyan la transferencia de humedad entre el producto y el medio. Por lo tanto, se requiere que la permeabilidad al vapor de agua sea lo más baja posible (Qiu-Ping y Wen-Shui, 2008).

Los hidrocoloides (polisacáridos y proteínas) presentan una buena barrera a los gases (Kester y Fennema, 1986) y forman la matriz estructural de las películas compuestas (Guilbert, 1986). Son, por tanto, los componentes principales de la barrera al CO_2 y O_2 y de las propiedades mecánicas de las películas comestibles. Las propiedades de las películas de hidrocoloide dependen del grado de interacción de sus moléculas. Así, un alto grado de interacción de las moléculas de hidrocoloide reduce la movilidad de las mismas y el volumen libre para la difusión de materia, lo que confiere rigidez a la película resultante y reduce su permeabilidad.

La forma y peso molecular del hidrocoloide, la presencia de grupos polares en su molécula, la presencia de agentes de entrecruzamiento, la temperatura y, especialmente, los plastificantes afectan al grado de interacción de las moléculas de hidrocoloide y, por tanto, las propiedades de la película (Guilbert, 1986).

1.7.2 Propiedades Físicas

Entre las propiedades físicas más importantes para las películas comestibles se encuentra el color, opacidad aparente, transparencia, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y a los gases (oxígeno, monóxido de carbono, etileno), y aquellas relacionadas con la resistencia mecánica (Roblejo, 2009).

- a) Propiedades ópticas: Se le consideran propiedades ópticas a todas aquellas que se perciben con el sentido de la vista, tales como la forma, el tamaño y las características de superficie rugosidad, manchas y defectos, por lo que generalmente, en un producto o material, son las primeras en ser evaluadas (Roblejo, 2009).
- b) Solubilidad: La solubilidad es utilizada como una medida de integridad de los recubrimientos en un medio acuoso. Mayor solubilidad indica menor resistencia al agua, por lo que esta propiedad afecta la aplicación de los recubrimientos (Roblejo, 2009).
- c) Espesor: La mayoría de los recubrimientos comestibles son de naturaleza hidrofílica y según Park y Chinnan (1995). Se ha encontrado una relación dependiente positiva entre la permeabilidad al vapor del agua y el espesor de los recubrimientos. Se considera que a medida que el espesor aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través del recubrimiento, por lo que la presión parcial de vapor del agua de equilibrio en la superficie inferior de la cubierta se incrementa. Otros autores atribuyen el efecto del espesor a cambios en la estructura del recubrimiento ocasionados por el hinchamiento que provoca el agua en el polímero (Park y Chinnan 1995).

1.8 Aplicaciones en alimentos.

El uso de recubrimientos en aplicaciones alimentarias y en especial en productos altamente perecederos, como los pertenecientes a la cadena hortofrutícola, se basa en ciertas características tales como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto barrera frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua a microorganismos y su aceptabilidad sensorial. Estas características son desarrolladas por parámetros como el tipo de material implementado como matriz estructural (conformación, masa molecular, distribución de cargas), las condiciones bajo las cuales se preforman las películas (tipo de solvente, pH, concentración de componentes, temperatura, entre otras), y el tipo y concentración de los aditivos plastificantes, como agentes antimicrobianos o antioxidantes (Espinoza, 2015).

1.8 Antimicrobianos en la industria alimentaria

En la actualidad ha surgido la necesidad de buscar alternativas de conservación, esto debido a que se ha asociado el consumo de conservadores químicos con intoxicaciones. La demanda de productos frescos mínimamente tratados está aumentando, así como el interés por los agentes antimicrobianos de origen natural, por esta razón se busca la combinación de dos o más factores que interaccionen aditiva o sinérgicamente controlando a la población microbiana, permitiendo con esto productos semejantes al producto fresco, pero con menos aditivos. (Terreno, Cacería, & Fuerte, 2005). Es importante mencionar que los recubrimientos y películas comestibles además de ser útiles como barrera, también pueden ser utilizados como vehículo para la incorporación de antimicrobianos y antioxidantes (Cha y Chinnan, 2004).

En particular, el control de las enfermedades de guayaba causadas por microorganismos como el *Colletotrichum gloeosporioides*, que infecta a los frutos desde el campo en cualquier etapa de desarrollo del mismo, y el *Pestalotiopsis psidii* el cual forma costras de textura corchosa en la superficie del fruto hasta finalmente deformarlo (Alberto, Jiménez, Jeffrey, & Jones, 2000.), por tal razón la industria de alimentos ha invertido en investigaciones para asegurar su inocuidad utilizando nuevas tecnologías como lo es el uso de conservantes antimicrobianos, los cuales continúan estando entre los aditivos alimentarios más importantes, dentro de ésta, los antimicrobianos se encuentran en el uso de sales propiónicas, sórbicas, ácido cítrico, nitritos, benzoatos etc. (Álvarez *et al.* 2007) .

Actualmente, debido a la demanda por parte del consumidor de productos frescos mínimamente tratados como son las frutas frescas y envasadas bajo diferentes atmósferas y refrigeradas, está aumentando el interés por los antimicrobianos de origen natural que puedan extraerse para ser utilizados con el fin de prolongar la vida útil y la seguridad para el consumidor (Blanchard, 2000).

1.8.1 Ácido Cítrico

El ácido cítrico (ácido 2-hidroxi- 1,2,3-propanotricarboxílico), es un ácido orgánico que puede ser considerado natural, sin embargo también puede ser sintetizado vía laboratorio, es un ácido que se encuentra casi en todos los tejidos animales y vegetales, se presenta en frutas como el limón, mandarina, lima, toronja, naranja, piña, guayaba, ciruela etc. Es considerado un ácido carboxílico versátil y ampliamente utilizado en el campo de la alimentación, de los productos farmacéuticos y cosméticos, entre otros (Thangavelu *et al.*, 2011).

Físicamente es un polvo cristalino blanco que puede presentarse de manera anhidra o como monohidrato, considerado un tri ácido carboxílico.

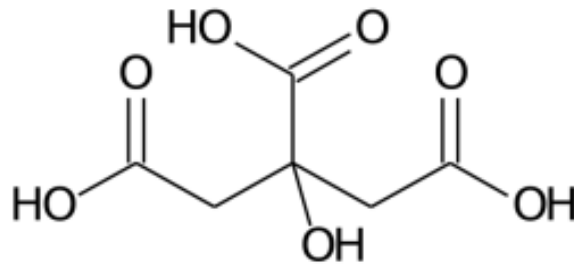


Figura 12. Estructura química del Ácido Cítrico

El ácido cítrico es usado en muchos productos y representa el 60% de todos los ácidos utilizados en la industria, ya que se ha reportado que en las películas comestibles pueden utilizarse aditivos para potenciar su efecto en las diferentes matrices donde se apliquen (Allende *et al.*, 2008).

Estos aditivos pueden ser agentes antimicrobianos, los cuales deben ser eficientes en la inactivación de patógenos y mantener la calidad sensorial del producto (Allende *et al.*, 2008). Los ácidos orgánicos como el ácido cítrico se han utilizado en la industria alimentaria para extender la vida de anaquel de algunos productos, aunque se aplican en altas concentraciones.

Estos ácidos pueden inactivar microorganismos debido a la acidificación del citoplasma de la célula bacteriana, además de que también actúa reduciendo el pH constituyendo de esta forma otro factor de stress (Virto *et al.*, 2005).

1.8.2 Sorbato de Potasio

El control de enfermedades causadas por microorganismos (hongos, bacterias y levaduras) ha originado la búsqueda de nuevos compuestos que eviten la contaminación de los alimentos durante la manipulación y el almacenamiento (Badawy *et al.*, 2009).

Los agentes antimicrobianos como el ácido benzoico, ácido sórbico y parte de sus sales (sorbato sódico, sorbato potásico y sorbato cálcico), ácido propiónico, ácido láctico, nisina y lisozima han sido incorporados en matrices comestibles, con el fin de evitar el crecimiento superficial de hongos, bacterias y levaduras en los alimentos.

El sorbato de potasio es un conservador y antiséptico de alta eficiencia y seguridad, recomendado por WHO y FAO, puede inhibir la actividad de moho, ascomicetos y bacterias aerobias, también puede prevenir el crecimiento y reproducción de microorganismos nocivos tales como estafilococo y salmonella (Cubero, 2003), su efecto de inhibir el desarrollo es más fuerte que el efecto de esterilización, por lo que puede alargar el tiempo de conservación y mantener el sabor original de los alimentos. Este antimicrobiano tiene un peso molecular de 150.22 g/mol y es el más soluble temperatura ambiente (Cubero, 2003). En la **Figura 13** se muestra la estructura química del sorbato de potasio.

El sorbato es utilizado en la industria de alimentos para la conservación de una gran variedad de productos como tapas de empanadas, pasta, pre-pizzas, pizzas congeladas, salsa de tomate, margarina, quesos para untar, rellenos, yogur, jugos, frutas secas, embutidos, vinos etc. Sin embargo este compuesto no debe ser utilizado en productos en cuya elaboración entra en juego la fermentación, ya que inhibe la acción de las levaduras.

La OMS ha fijado la ingesta diaria admisible para ácido sórbico en un valor de 25 mg/kg de peso corporal por día. La no toxicidad de los sorbatos fue establecida en pruebas en las cuales los compuestos fueron suministrados a diversas especies animales para la determinación de toxicidad aguda, así como su influencia en el metabolismo después de la exposición a corto o largo plazo. En general, estudios han demostrado la inocuidad relativa de sorbatos y su superioridad relativa en la seguridad en comparación con otros aditivos químicos (Jarret, 2005).

Como forma de precaución en caso de utilizar combinaciones de sorbato de potasio con otros conservantes debe tenerse la precaución de no introducir iones de calcio ya que se produce una precipitación. En consecuencia en la combinación con sorbato de potasio utilizar propionato de Sodio para una óptima acción sinérgica. El Sorbato de potasio puede ser incorporado directamente a los productos durante su preparación o por tratamiento de superficies (pulverización o sumergido (Domínguez-Courtney & Jiménez-Munguía, 2012).

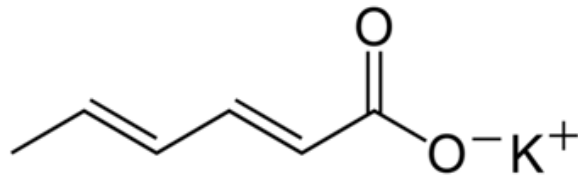


Figura 13. Estructura química del Sorbato de Potasio

En un estudio realizado por Mehyar *et al.* (2011), se demostró que las películas con goma guar adicionadas con sorbato de potasio conservaron mejor ciertos vegetales y frutos entre éstos la guayaba en comparación con películas de almidón formuladas con el mismo conservador, sin embargo, este conservador al ser empleado a concentraciones menores del 0.3% ayudo a inhibir el crecimiento de hongos y levaduras (Domínguez-Courtney & Jiménez-Munguía, 2012).

2. JUSTIFICACIÓN

El consumo de guayaba ha sido de suma importancia en la alimentación del hombre ya que constituye una fuente importante de vitaminas y minerales indispensables para la salud, sin embargo este fruto cuenta con un periodo de vida reducido después de ser cosechado, es decir, es susceptible a plagas y enfermedades lo cual limita su biodisponibilidad aún con un manejo y almacenamiento adecuados de manera que resulta perecedero. Destacan en la producción nacional los estados de: Michoacán 37 %, Aguascalientes 35%, Zacatecas 21% y el 7% restante, lo aportan el Estado de México.

Por esta razón su conservación tiene particular interés, hoy en día se han desarrollado recubrimientos biodegradables con funciones activas, que generan características antimicrobianas y propiedades de barrera sin la adición de agentes químicos, esto se ha dado fundamentalmente a las exigencias cada vez mayores , de reducir el impacto en las pérdidas postcosecha de la guayaba, ayudando a reducir costos de producción e incremento de su volumen así como la optimización de la calidad de los productos aportándole brillo al producto, y confiriéndole un aspecto más apetecible para el consumidor, se han realizado diversos estudios que están orientados en otro sentido y existe un área que debe ser explorada con mayor profundidad como la adición de compuestos bioactivos que contribuyan con la inhibición de microorganismos que afectan el fruto de la guayaba

Por lo tanto la finalidad de esta investigación es la aplicación de un recubrimiento comestible funcional en guayaba elaborado a base de goma guar y alginato de sodio adicionado con antimicrobianos como ácido cítrico y sorbato de potasio, que ayuden a mantener las características de calidad postcosecha como; firmeza, color, sólidos solubles, representando una alternativa para alargar la vida de anaquel, reducir pérdidas durante su etapa de desarrollo y que además sea de bajo costo.

3. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

3.1 Objetivo General.

Caracterización de una película comestible a base de alginato de sodio y goma guar adicionado con agentes antimicrobianos (sorbato de potasio y ácido cítrico) mediante pruebas fisicoquímicas, químicas y mecánicas para alargar la vida útil de guayaba.

3.2 Objetivos Particulares

- Desarrollar una película comestible a base de Alginato de Sodio (1%-2%), Goma Guar (1.2%-2%) y glicerol, adicionando ácido cítrico (1%-5%) y sorbato de potasio (0.5%-1%) como agentes antimicrobianos, que permitan disminuir la carga bacteriana (*Pestalotiopsis psidii guajava*, *Collectotrichum gloeosporioides* (*Antracnosis*)) que afecta a la fruta y de tal manera garantizar la conservación adecuada de la guayaba.
- Caracterizar la película comestible mediante pruebas físicas (color), mecánicas (carga y desplazamiento,) y fisicoquímicas (ángulo de contacto, permeabilidad al vapor pH, acidez, °Brix, microscopía electrónico) que permitan evaluar su capacidad de soporte, con la finalidad de determinar las posibilidades de su aplicación como empaque que ayude a prolongar sobre superficies de guayaba.
- Evaluar el recubrimiento en su efectividad antimicrobiana en la superficie del fruto por medio cualitativo, para comprobar la vida útil de la guayaba.

3.3 Hipótesis

La aplicación de un recubrimiento comestible elaborado a partir de goma guar (1.2-2%) y alginato de sodio (1-2%) adicionado con agentes antimicrobianos (sorbato de potasio y ácido cítrico) prolongará la vida útil de la guayaba.

Caracterización fisicoquímica de un recubrimiento comestible a base de hidrocoloides para prolongar la vida útil de guayaba (*Psidium guajaba*)

4. CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

Los materiales utilizados durante la etapa experimental para la elaboración de películas comestibles y caracterización de materia prima fueron los siguientes: guayaba (*Psidium Guajava*) de madurez homogénea, se eligió conformé el fruto se encontraba de epidermis firme y de color amarillento, Ácido Cítrico de grado alimenticio ($C_6H_8O_7$:192.13 g/mol), Sorbato de Potasio de grado alimenticio ($C_6H_7KO_2$: 150.22 g/mol) ambos conservadores fueron obtenidos de Droguería Cosmopolita, glicerol de grado alimenticio ($C_3H_8O_3$: 92.09 g/mol), Goma Guar (PM: 220,00 Daltons; Densidad: 0.9 g/cm³), Alginato de Sodio de grado alimenticio ($C_6H_7O_6Na$: 216 g/mol), NaCl 0.1N, HCL(36.4 g/mol) 0.1N, Fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$:318.32 g/mol) al 1% y Nitrato de Potasio (KNO_3 :101.10 g/mol).

4.2 Métodos

4.3 Preparación de dispersiones formadoras de película

Se prepararon soluciones acuosas a partir de goma guar, alginato de sodio, y glicerol, empleando como agentes conservadores ácido cítrico y sorbato de potasio, utilizando las concentraciones mostradas en el Cuadro 3.

Cabe destacar que las soluciones se clasifican en 2 grupos, el grupo 1 corresponde a la formulación adicionada con ácido cítrico mientras que el grupo 2 fue adicionada con sorbato de potasio, esto se realizó con la finalidad de estudiar el efecto de cada uno de estos agentes conservadores sobre las características mecánicas y de calidad de las películas y la guayaba, siguiendo la metodología propuesta por Espinoza 2005.

Cuadro 3. Concentraciones de elaboración de películas comestibles

Componente	Concentración (%)	Componente	Concentración (%)
Goma Guar	1	Goma Guar	1
Alginato de Sodio	2	Alginato de Sodio	2
Glicerol	5	Glicerol	5
Ácido cítrico	1	Sorbato de Potasio	0.5

4.4 Elaboración de películas

Se tomó 30 mL de la solución formadora y se vertieron en placas de vidrio de 20 x 10 cm, las cuales se colocaron en una vitrina con ventilación a temperatura ambiente durante 24 horas. Las películas formadas fueron retiradas de las placas y almacenadas en una caja hermética durante 3 días a temperatura ambiente.

4.5 Acondicionamiento de las películas

Previo a los análisis las películas se acondicionaron por 3 días en una caja hermética, con una solución saturada de bromuro de sodio el cual nos ayudó a mantener una humedad relativa de 80% (Santiago,2015).

4.6 Espesor de las películas comestibles

Se utilizó un micrómetro digital Mitutoyo Digimatic de Alta Exactitud, con una sensibilidad de 0.001 mm, fue utilizado para medir el espesor de las películas, tomando 3 mediciones en varios puntos de la misma, calculando posteriormente el promedio para cada muestra.

4.7 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas o fuerzas de tensión fue determinado utilizando un texturómetro EZ-S SHIMADZU, se emplearon muestras de película de 20 x 10 cm, acondicionadas durante una semana en una caja hermética dónde se colocó una solución salina de Nitrato de potasio, esto con el fin de mantener a la película con una humedad relativa constante. Las películas se ajustaron a la boca de una geometría cilíndrica y se hizo una puntuación en el centro y en los extremos de cada película con un punzón de acero de punta redonda que descendió una distancia de 150 mm a velocidad. Por medio de la relación entre la fuerza de tensión (N) y la correspondiente extensión o deformación (m) al punto de falla (momento de ruptura de la película) se calculó la resistencia a la tensión de cada formulación, el ensayo se realizó por triplicado (Sánchez *et al*, 2014).

4.8 Ángulo de contacto

El ángulo de contacto formado entre una gota de agua y la superficie proteína-polisacárido, se evaluó con un goniómetro (TANTEC, U.S.A.) Para la medición de ángulo de contacto aparente se empleó la metodología propuesta por Marmur A., (2006) esta técnica correspondió al método de la gota dispuesta, donde una gota de agua desionizada (20 μ L) se suspendió a 5 mm de altura sobre una superficie a base de dos polisacáridos adicionados con antimicrobianos (WPI-LMP o SPI-CMC) colocada horizontalmente.

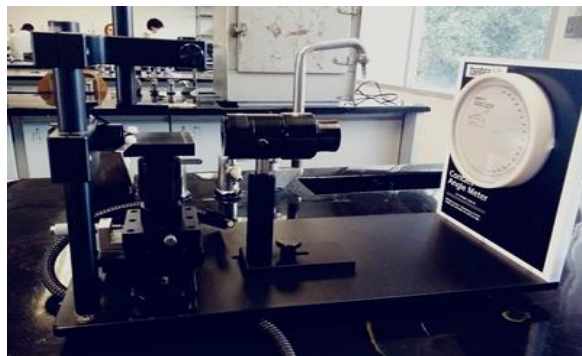


Figura 14. Equipo TANTEC Contact Angle Meter

Se dividió cada película en de 2 cm de largo por 3 de ancho, se realizaron cortes uniformes, procurando un área constante para ser evaluadas en tres puntos diferentes, en los extremos y en el medio de cada una de las concentraciones utilizadas. Cada evaluación se realizó a $20 \pm 1^\circ\text{C}$, por triplicado.

4.9 Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua se midió usando el método ASTM E96 (método gravimétrico) con algunas modificaciones, se mide la cantidad de vapor que pasa por unidad de superficie (ASTM E96, 1995).

Se cortó la película en forma rectangular haciendo un sellado hermético, la película fue colocada sobre una malla adaptada al frasco de 4.5 cm de diámetro, en el interior del frasco se colocaron 5 mL de agua destilada, en la **Figura 15** se muestra una representación de las películas colocadas sobre la malla (Suárez, 2014).

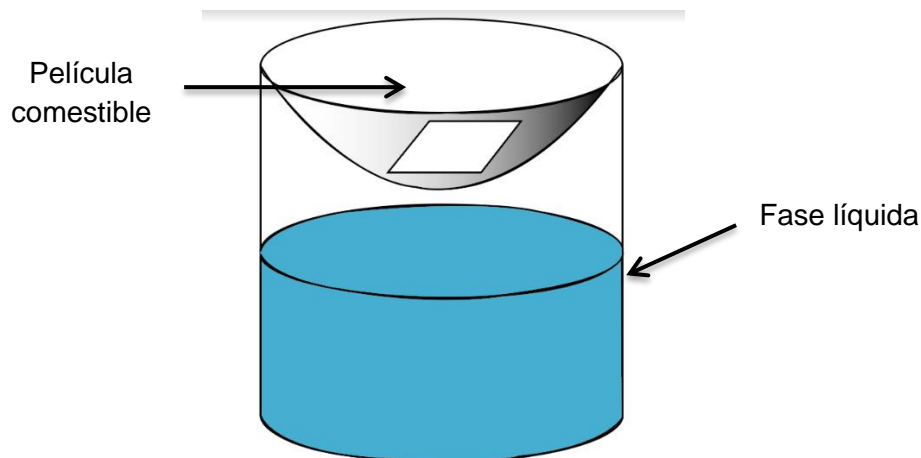


Figura 15. Representación de la medición de permeabilidad al vapor (Medrano-Carballo *et al.*, 2010).

La ganancia o pérdida de las películas de cada concentración fue monitoreada en función del tiempo, fueron medidas durante 5 días. Los cambios de peso se registraron mediante una balanza analítica con precisión de 0.0001g. Las medidas de la velocidad de aumento de ganancia o pérdida de vapor de agua se realizaron pesando la película

en un periodo total de 5 días, con ellos se puede determinar la permeabilidad al vapor de agua de las películas.

4.10 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La homogeneidad y la apariencia de las dos concentraciones de película seleccionada se examinaron por observación visual y por SEM con un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-6010LA. Las muestras se secaron a un porcentaje del 75 de humedad relativa por bromuro de sodio por 1 semana. Para analizar la sección transversal, se cortaron rectángulos de 0.5cm y las piezas de película se montaron en un portamuestras de aluminio y se recubrieron con una capa de oro, permitiendo la visualización de la superficie y la sección transversal.

Todas las muestras se analizaron con un voltaje de aceleración de 15kV. Los análisis se realizaron por triplicado y se tomaron 3 micrografías para cada muestra. Las micrografías de la superficie de las muestras se obtuvieron con una magnificación de 100x y para la sección transversal con una magnificación de 500x y 1000x. Para la construcción de imágenes se aprovecha la emisión de electrones (secundarios) de una muestra, cuando sobre ella incide un haz enfocado de electrones de alta energía. Los electrones emitidos por la interacción del haz incidente y la muestra son colectados por los correspondientes detectores para producir una señal eléctrica, la cual produce la imagen de la muestra en la pantalla de un tubo de rayos catódicos (Hernández & Espejo, 2002).

4.11 Acondicionamiento de materia prima

La materia prima proviene en la central de abastos de Cuautitlán, México, los frutos de guayaba fueron seleccionados con base en la uniformidad de tamaño, color, y sin daños visibles. Posteriormente se lavaron y enjuagaron con abundante agua purificada

a una temperatura de 30°C durante 20 min, esto con la finalidad de asegurar la eliminación total de cera en la superficie.

Finalmente los frutos se secaron con ventilación durante 1 h para garantizar la fácil adhesión del recubrimiento. Previo a los análisis a realizar en las películas, se acondicionaron por 3 días en una caja hermética, con una solución saturada de bromuro de sodio, para mantener una humedad relativa de 80%.

El lote de guayaba se distribuyó al azar en 3 grupos, el primer grupo se consideró como control mientras que el grupo 2 fue recubierto con película adicionada con ácido cítrico y el grupo 3 con sorbato de potasio cabe mencionar que el grupo control se consideró para evaluar los cambios en las características de calidad de la guayaba como ph , acidez y °brix durante los 12 días de almacenamiento y de tal manera poder monitorear si los recubrimientos elaborados resultaban efectivos para la conservación (Espinoza,2005).

4.12 Aplicación de películas a frutos de guayaba.

La técnica de aplicación utilizada fue la de inmersión, las guayabas fueron sumergidas en cada una de las soluciones (grupo 1 y 2), por espacio de 1 minuto. Posteriormente fueron secadas con ventilación. Para los análisis, los frutos fueron mantenidos en refrigeración de 4°C - 6°C, durante 12 días. Los frutos recubiertos fueron identificados de acuerdo al tipo de película.

4.13 Evaluación del Color

Para la medición de este parámetro, se usó el método propuesto por García (2017).El color se determinó con ayuda de un colorímetro Minolta CR-300, tomando 3 lecturas sobre el eje ecuatorial de la corteza de la guayaba , con y sin película, determinando parámetros como cambio total de color, monitoreando cada 3 días durante 12 días. Se

obtuvieron los valores medios de *L, *a y *b a través de las lecturas. *L corresponde a la claridad y a*, b* a la cromaticidad. Concretamente a* define el componente rojo (+) y verde (-).

El parámetro b* define el componente amarillo (+) y azul (-) (Calvo y Durán, 1997). Por lo tanto la diferencia total de color fue obtenida a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Ecuación 2.

4.14 Evaluación de pH

Se determinó a través de un potenciómetro portátil pHs-p3 pH-meter tomando 5 g de muestra la cual se homogeneizó con 45 mL de agua destilada. Posteriormente se introdujo el electrodo del potenciómetro en la muestra hasta que apareciera la lectura en la pantalla del equipo. Las lecturas se tomaron por triplicado para cada tratamiento (González, 2016).

4.16 Sólidos Solubles

Se evaluó el fruto de guayaba con y sin recubrimiento, la muestra se molió en un procesador durante 3 minutos, una vez homogeneizada el contenido de sólidos solubles se determinó empleando un refractómetro, en donde una gota de la muestra fue colocada en el prisma del mismo de manera directa tomando 3 lecturas, expresando el contenido de sólidos solubles como porcentaje de la escala de °Brix (Gonzalez, 2016).

4.17 Vida de anaquel

Se evaluó que la combinación de los factores interaccionaran, controlando así a la población microbiana,

Los puntos básicos para la estimación de la vida de anaquel en la guayaba son:

1. Deterioro esperado
2. Criterios de inicio y término de vida de anaquel
3. Condiciones de estudio: almacenamiento de la guayaba
4. Plan de muestreo (grado de madurez de la guayaba)
5. Cantidad de muestra
6. Análisis de la información

Deterioro esperado

Dependiendo del producto, de los ingredientes y del proceso al que son sometidos, los alimentos van cambiando con respecto del original. Los cambios se dan en términos de oxidación, rancidez, disminución de propiedades sensoriales, etcétera, en la guayaba recubierta de la película con ácido cítrico la alteración final fue mayor a comparación del fruto con la película de sorbato de potasio, pues físicamente hubo una aceleración de maduración y por consecuente la proliferación de las dos enfermedades estudiadas.

Permitiendo con esto que la velocidad de proliferación microbiológico sea lo más escaso posible, para la prolongación de vida útil, evaluándolo de forma visual la apariencia externa de los frutos los resultados se expresaron dependiendo del producto, de los ingredientes y del proceso al que fueron sometidos. Los cambios se dan en términos de oxidación, disminución de propiedades sensoriales, la presencia de micelio fúngico visible, el color, manchas y ablandamiento del fruto.

Criterio de inicio y término de vida de anaquel

En ocasiones los productos sufren cambios que no se clasifican como deterioro sino como maduración, por lo tanto estos cambios no requieren contabilizarse dentro del tiempo de deterioro. Por otro lado, aun cuando el criterio de aceptación sensorial es el único que de forma inmediata es percibido por el consumidor y puede provocar el rechazo del producto, se deben considerar otros parámetros que en ocasiones pueden marcar el término del estudio, como una contaminación microbiológica o una disminución tamaño. Para ello el criterio de término de análisis que se llevó a cabo en la guayaba se refiere al valor de intensidad sensorial en comparación con un control.

Condiciones de estudio

Es necesario conocer las condiciones de almacenamiento (temperatura y humedad) a las que se va a someter, para poder simular las condiciones reales, para medir el deterioro de la guayaba que ha sido sometido a alguna condición específica es necesario llevar un control estricto del mismo, que debe mantenerse con el menor cambio posible. Todos estos puntos son fundamentales para la óptima conservación de la guayaba.

Plan de muestreo

Se tomó en cuenta la información previa sobre el fruto para plantear un plan de evaluación en todos los parámetros posibles. Con ello en mente se implicó almacenar diferentes muestras de guayaba con las diferentes películas en las condiciones seleccionadas a diferentes tiempos, y de tal forma, ser analizadas

Es importante tomar en cuenta que todo producto que esté destinado para la evaluación respecto de las diferentes condiciones de almacenamiento y análisis, debe pertenecer al mismo código de producción o lote.

5. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Propiedades Mecánicas.

Elasticidad y resistencia

La resistencia de las películas estudiadas se debe a los componentes que la integran (polisacáridos, plastificantes y antimicrobianos), por lo tanto al realizar la prueba mecánica se pudo determinar que ambas resisten a la fuerza aplicada durante los 15 s que duró la prueba (Véase gráfico 1). Esto lo podemos atribuir a que en su composición contienen glicerol, el cual es el responsable de dar flexibilidad, ya que la molécula de glicerol al ser hidrofílica, se introduce y puede formar puentes de hidrogeno, (Gontard *et al.*, 1993; Arvanitoyannis *et al.*, 1997), ayudando a la atracción intermolecular entre cadenas poliméricas y aumentando la flexibilidad de las mismas y favoreciendo su maleabilidad y adherencia.

Sin embargo las películas adicionadas con ácido cítrico presentaron una menor resistencia a la fuerza y un menor desplazamiento el cual fue de 5.02 mm en comparación con las de sorbato de potasio que tuvieron un desplazamiento 9.72mm y mayor resistencia a la fuerza aplicada por el texturómetro, esta diferencia en la resistencia, está directamente relacionada con el antimicrobiano porque por que cambia el pH adicionado ya que ambas películas contenían la misma concentración de biopolímero y plastificante.

Diversos estudios (Rojas, Gerschenson, & Goyanes, 2014) han comprobado que el sorbato de potasio presenta una cristalinidad de menor intensidad, demostrando que al adicionar este antimicrobiano a películas comestibles se aumenta la flexibilidad de las cadenas de los biopolímeros que constituyen a la película, ya que es un compuesto de bajo peso molecular actúa como un plastificante proporcionando mayor flexibilidad y fricción del sistema.

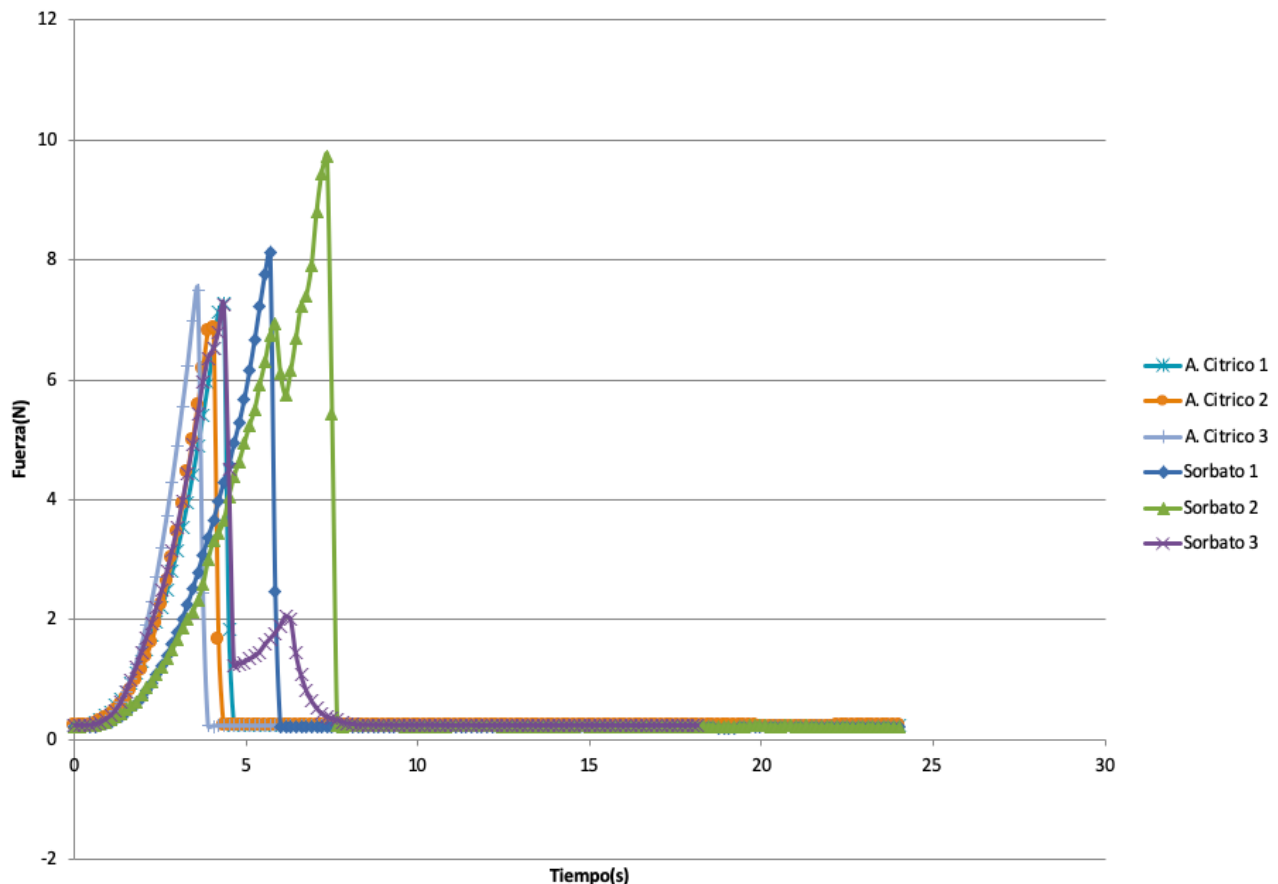


Gráfico 1. Influencia de la fuerza aplicada en 3 puntos diferentes de las películas

Sin embargo la adición de estos compuestos antimicrobianos suelen provocar cristalinidad en las películas, este fenómeno está relacionado con el contenido de humedad de la película, la adición de sorbato produjo la disminución de la cristalinidad y aumento de la humedad ya que este compuesto tiene una alta capacidad de retención de agua, provocando que la película resistiera a la fuerza y tuviera un mayor desplazamiento, mientras que las adicionadas con ácido cítrico se mostraron menos

resistentes debido a que este compuesto al encontrarse en forma de monohidrato produce mayor cristalinidad y menor contenido de humedad en la película haciendo que esta se fracture con mayor facilidad.

5.2 Ángulo de Contacto

El ángulo de contacto determina la adherencia e hidrofobicidad de la película comestible sobre la superficie de la matriz, ya que valores muy bajos aseguran la máxima extensibilidad. Las películas adicionadas con ácido cítrico resultaron poco resistentes, permeables con respecto a las de sorbato de potasio el cual presentó un ángulo de 50° , mientras que en las películas de ácido cítrico, el ángulo no pudo ser determinado debido a la rápida adsorción del agua en la película, ésta película no sería del todo efectiva para la conservación de guayaba ya que al romperse fácilmente al contacto con el agua indica un efecto beneficioso sobre la proliferación de microorganismos, sin embargo la adicionada con sorbato de potasio sería una mejor alternativa de conservación ya que este se mostró la facilidad de entrada de agua en cantidad suficiente provocando la hidratación, el hinchamiento y expansión de la película en comparación con el ácido cítrico y además de que es un efectivo agente conservador de hongos, así como el ejemplo que se observa en la Figura 16, puede mencionarse como desventaja, que los geles que se forman al absorber el agua, pueden bloquearse y perder la capacidad de absorción y disminuir su velocidad de humectación, estos problemas pueden minizarse por medio del aumento de número de grupos carboxilos.

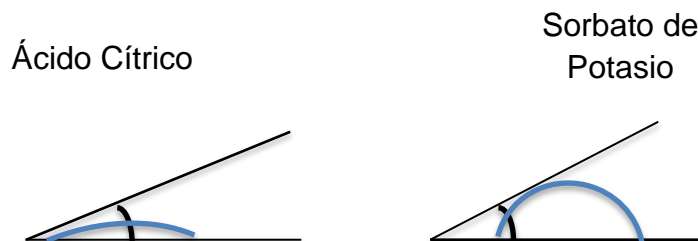


Figura 16. Representación de adsorción de la película (ángulo de contacto)

5.3 Permeabilidad al Vapor de agua (PVA)

Una de las propiedades más importantes de una película comestible es su permeabilidad al vapor de agua.

En el **Cuadro 4**, se muestran los valores de la permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas evaluadas a las diferentes concentraciones dónde se registra el peso por día de cada formulación de la película.

Cuadro 4. Comparativo de permeabilidad de vapor de agua.

Sorbato de Potasio

Día	Peso (g) de la película comestible	PVA $gh^{-1}m^{-2}Pa^{-1}$
1	0.0225	
2	0.09625	0.07375
3	0.11205	0.0158
4	0.12115	0.0091
5	0.128	0.0069

Ácido Cítrico

Día	Peso (g) de la película comestible	PVA $gh^{-1}m^{-2}Pa^{-1}$
1	0.04575	
2	0.1477	0.1019
3	0.1693	0.0216
4	0.192	0.0227
5	0.1785	0.0135

Respecto a los valores de PVA comparada entre las dos concentraciones presentadas, no existe diferencia significativa entre el valor experimental obtenido, esto se puede explicar debido a que los recubrimientos o películas comestibles elaboradas a partir de polímeros naturales tales como polisacáridos (almidón y derivados de celulosa, alginatos, pectinas, carrageninas, etc) así como aquellos a base de proteínas, muestran una baja resistencia al agua y poseen bajas propiedades de barrera.

Otro factor a tener en cuenta en la disminución significativa de la PVA en las películas, es el posiblemente aumento de la cristalinidad en las películas, lo que ocasiona una

disminución del “volumen libre”, el cual es definido como el espacio libre, que no es ocupado por la microestructura de la molécula del polímero, esto se debe a que inicialmente los polímeros no se encuentran en un equilibrio presentándose un volumen libre, el cual se relaja con el tiempo de envejecimiento hasta llegar a su estado de equilibrio, generando que el envejecimiento disminuya poco a poco la PVA, por una disminución del agente plastificante.

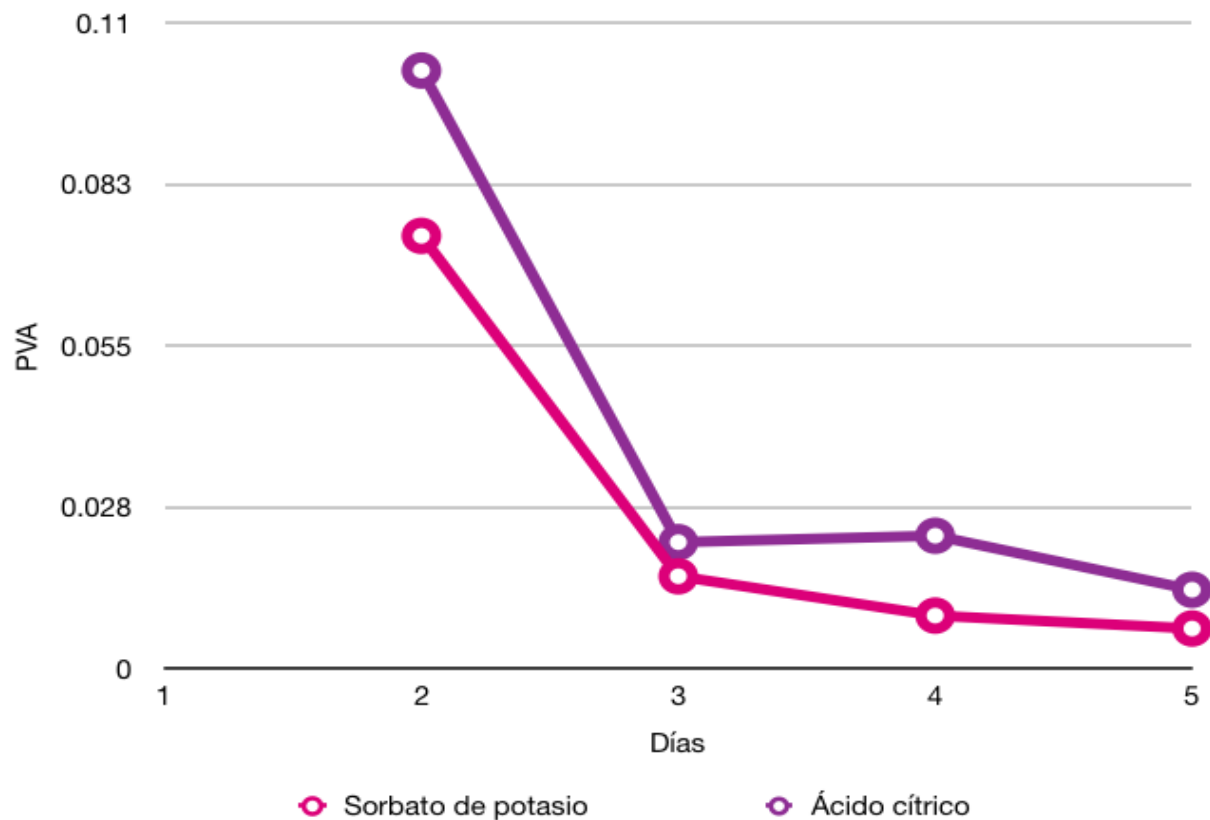


Gráfico 2. Gráfico comparativo de la permeabilidad del vapor de agua.

Los polímeros ideales no exhiben efecto del espesor sobre la permeabilidad al vapor de agua, el efecto se da directamente por la interacción que ejercen los componentes de la película comestible, cuando la película no está actuando como una barrera simple, se presenta un transporte disfuncional podría atribuirse a asociaciones entre las moléculas de agua y los grupos funcionales.

Estas asociaciones entre el agua y la película provocan hinchamiento y cambios de estructura que facilitan la difusión de gases y vapores (Krochta J., 1992).

La incorporación del plastificante modifica la organización molecular, haciendo la estructura menos densa y como consecuencia más permeable.

El incremento de la permeabilidad con el contenido de plastificante, al introducir un plastificante hidrofílico que favorece la adsorción y desorción de moléculas de agua se mejora la permeabilidad al vapor de agua de películas basadas en hidrocoloides (Chinnan, 2000).

El aumento de permeabilidad permite el movimiento del vapor de agua a través de la película, previniendo la condensación de agua, que puede ser una fuente potencial para el deterioro microbiano en el alimento. Si las películas se elaboran a base de polisacáridos puros, sin la adición de plastificantes, tienden a presentar velocidades de transferencia al vapor de agua más bajas que la mayoría las películas hechas a base de proteína.

Las películas con mayor flexibilidad tienen una mayor permeabilidad al vapor de agua, las películas adicionadas con ácido cítrico o sorbato de potasio así como ácidos sórbicos actúan como un plastificante más, debilitando el empaquetamiento de las cadenas en la película para producir una estructura menos ordenada, lo cual aumenta la movilidad de las moléculas de agua y por lo tanto la permeabilidad.

Los aditivos como el sorbato de potasio, actúan como un plastificante, debilitando las cadenas que interaccionan en la película para producir una estructura menos ordenada, lo cual aumenta la movilidad de las moléculas de agua y por lo tanto, la permeabilidad, diversos estudios han comprobado que el sorbato de potasio presenta una cristalinidad de menor intensidad, demostrando que al adicionar este antimicrobiano a películas comestibles se aumenta la flexibilidad de las cadenas

de los biopolímeros que constituyen a la película, ayudando a incrementar tanto la flexibilidad como la fricción del sistema. Por lo tanto se puede destacar que la estructura química, polaridad relativa, grado de cristalinidad, densidad, orientación molecular, grado de uniones cruzadas entre moléculas, peso molecular y polimerización y la presencia de plastificantes y aditivos, influyen directamente sobre las propiedades barreras al vapor de agua de los recubrimientos comestibles, la presencia de plastificantes disminuye las fuerzas intermoleculares en las cadenas del polímero y por tanto, le confiere una mayor movilidad molecular, aumentando su permeabilidad al vapor de agua (Pastor, 2010).

5.4 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La microscopía electrónica de barrido (SEM), es una técnica que permite generar imágenes de una superficie con alta resolución y una apariencia tridimensional dentro de un intervalo amplio de aumentos, la microestructura de las películas se estudió de forma cualitativa, con la finalidad de ver cómo se organizan los componentes y observar los efectos en la estructura morfológica (Salgado, 2011).

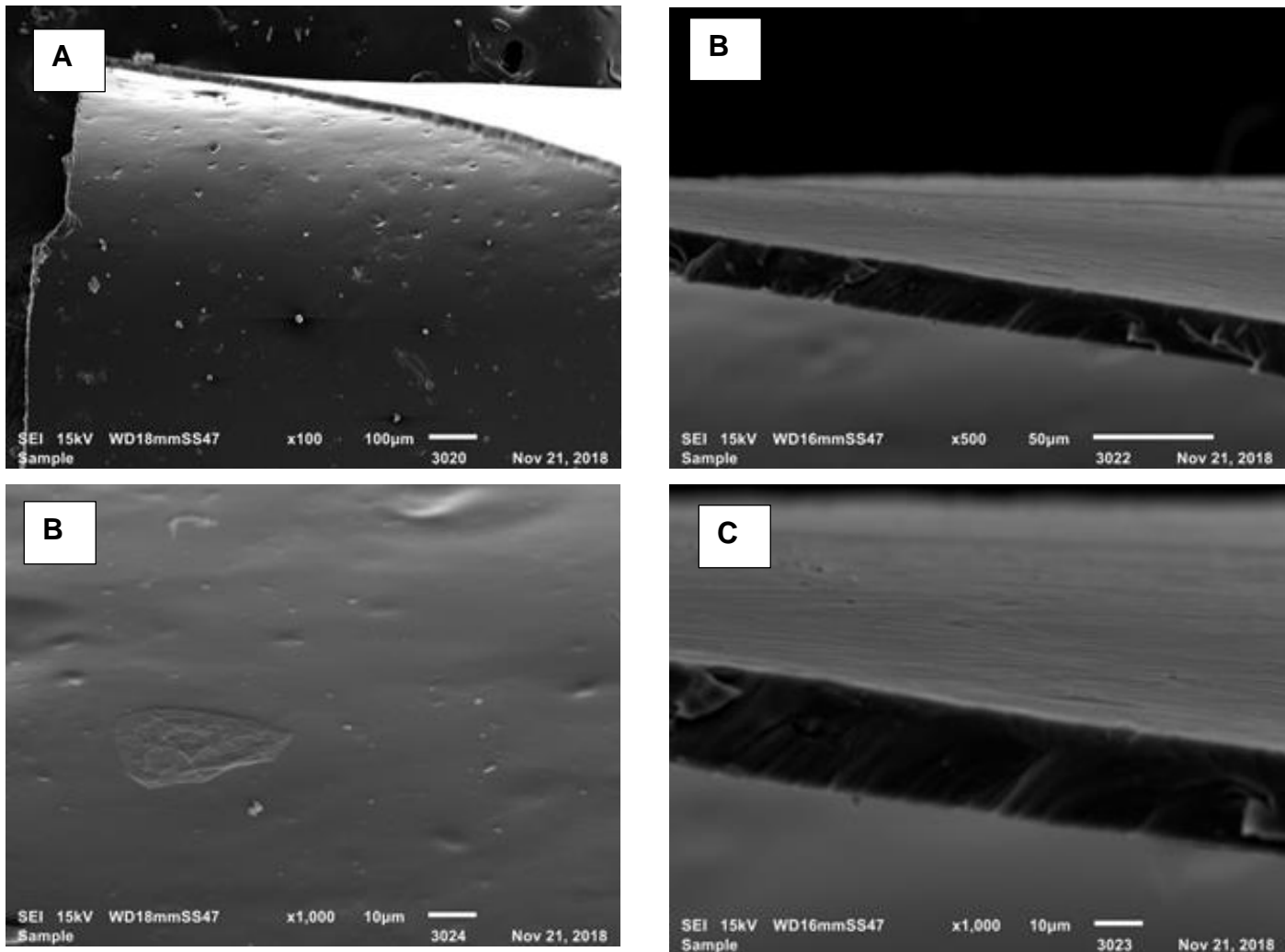
Ácido cítrico

Figura 17. Micrografías de SEM de la película adicionada con ácido cítrico

La morfología de la superficie y de la sección transversal de la película seleccionada fue examinada mediante SEM (**Figura 17**).

Las micrografías obtenidas muestran que la superficie de la película presenta y se conserva de manera ordenada y sin separación de fases lo que indica que la goma guar en conjunto con el alginato de sodio tienden a formar una estructura homogénea.

Además, a través de las micrografías de la sección transversal se observa que el espesor de la película es constante, sin embargo es posible observar poros posiblemente de aire, esto pudo deberse a técnica de preparación de la película, sin

Caracterización fisicoquímica de un recubrimiento comestible a base de hidrocoloides para prolongar la vida útil de guayaba (*Psidium guajaba*)

embargo, estos poros no atraviesan la película y pudieran estar relacionados con la baja permeabilidad al vapor de agua de la película.

Sorbato de Potasio

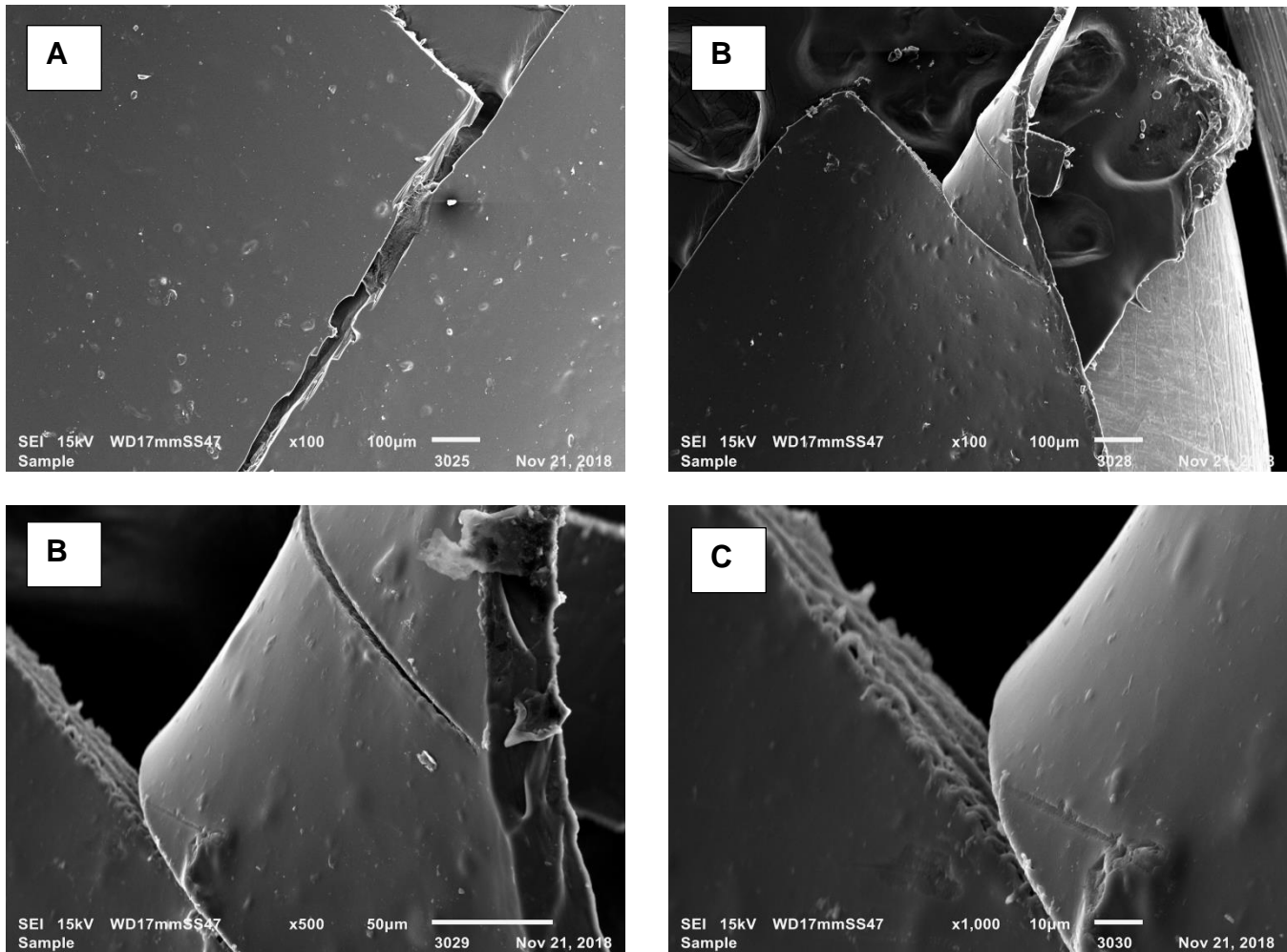


Figura 18. Micrografías de SEM de la película adicionada con Sorbato de Potasio.

El biopolímero es el responsable de proporcionar una matriz macromolecular con la resistencia cohesiva la que a su vez depende de la estructura química del polímero, masa molecular, geometría y su distribución espacial de sus grupos funcionales; así también la dispersión formada por el antimicrobiano y el agua, la cual depende del tiempo y la concentración, puede establecerse que con la obtención de películas lisas y sin rugosidades, los polímeros en conjunto (Alginato de sodio y Goma guar), plastificante (glicerol) y antimicrobianos agregados fue la cantidad necesaria para poder

Caracterización fisicoquímica de un recubrimiento comestible a base de hidrocoloides para prolongar la vida útil de guayaba (*Psidium guajaba*)

mantener el sistema estable con la formulación seleccionada y por consiguiente como resultado se obtiene una película con microestructura homogénea.

5.5 Color

De acuerdo con Conde y Báez (1999), el color juega un papel muy importante en la determinación del estado, calidad y características de las frutas, ya que se define como una percepción humana, y es el resultado de una serie compleja de procesos en el sistema visual humano.

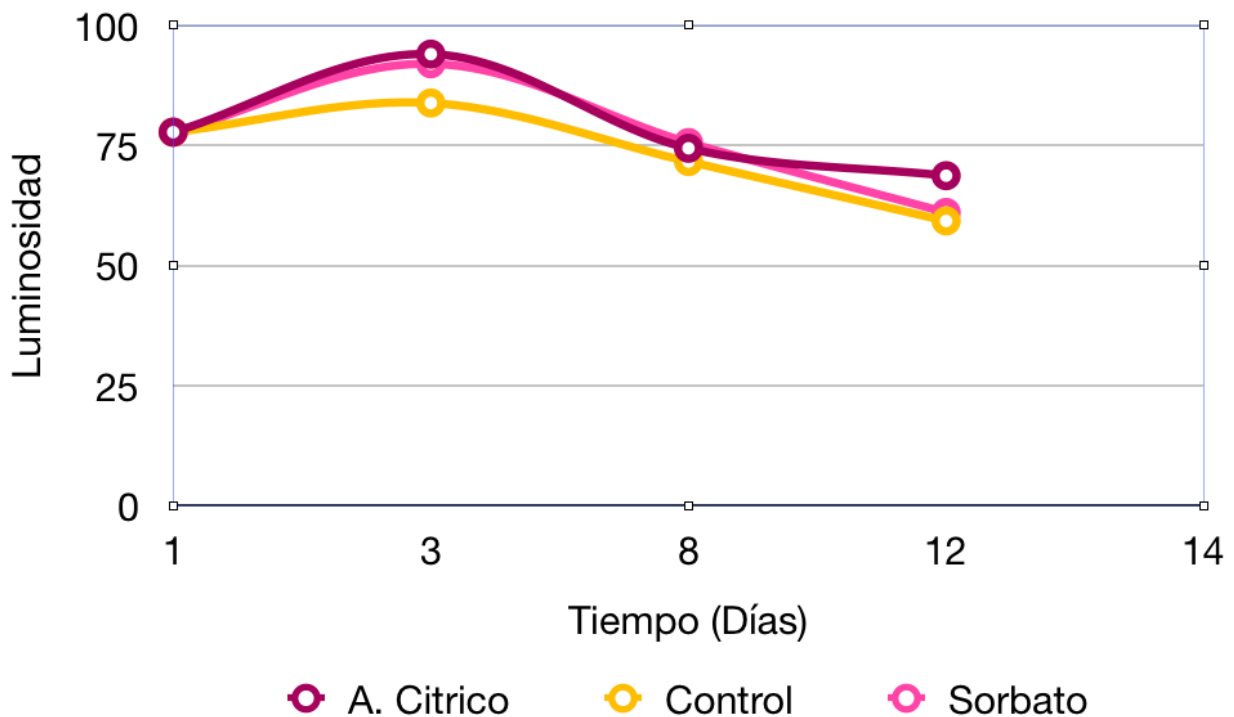


Gráfico 3. Luminosidad (L*) de los frutos de guayaba recubiertos con película comestible

En base los resultados obtenidos los valores de L^* para el fruto fueron reducidos en comparación con los frutos recubiertos con película, ya que presentaron valores de luminosidad muy similares entre sí durante el día 3 y 8 mientras que para el ultimo día de monitoreo la luminosidad entre ambos presentó una diferencia significativa ya que los frutos adicionados con película de sorbato presentaron un valor de L^* de 61.05 mientras que las adicionadas con ácido cítrico tuvieron una luminosidad de 68.7.

Por otro lado también se evaluó ΔE , aunque es importante destacar que este parámetro nos indica la magnitud de la diferencia total de color entre las muestras estudiadas, destacando que el cambio total de color fue siempre mayor en los frutos testigo que en los frutos con tratamiento, lo que confirma que el uso de películas contribuyó en la reducción de los cambios asociados al color.

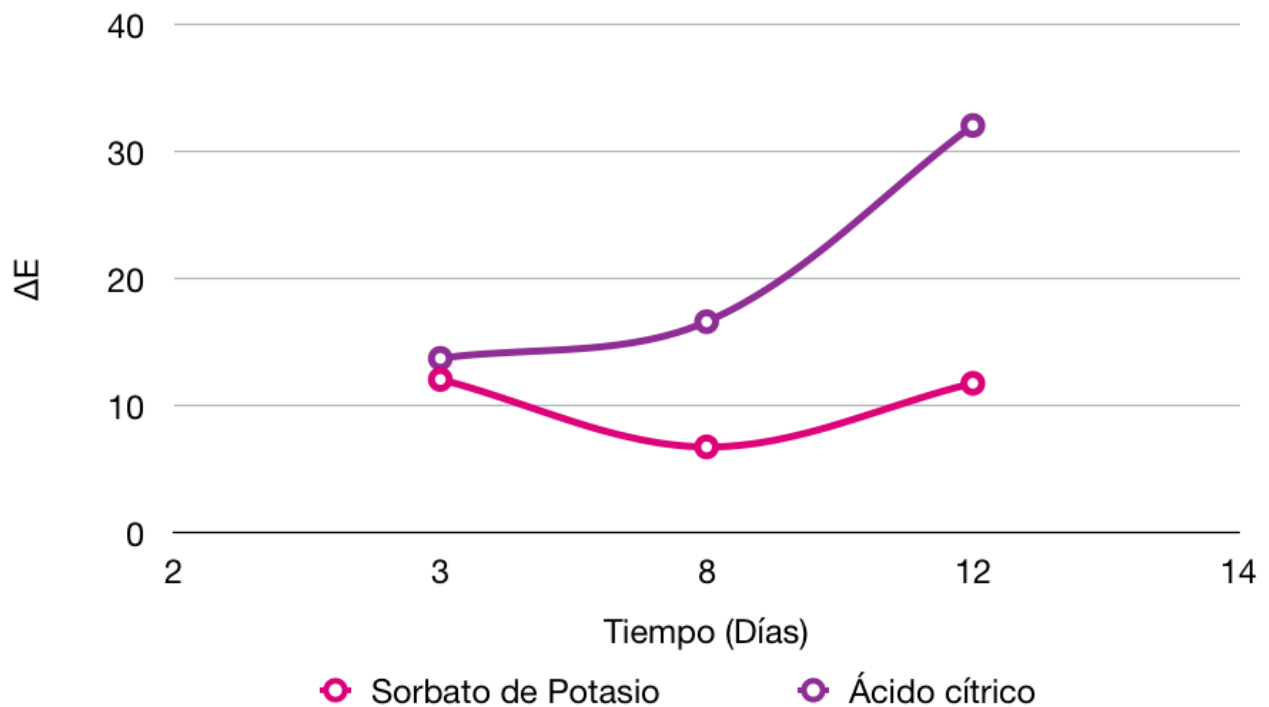


Gráfico 4. Cambio de color (ΔE) en guayabas recubierto con película comestible.

De acuerdo a las diferencias que se observaron entre los tratamientos con respecto a la luminosidad y ΔE a lo largo del almacenamiento podemos afirmar que el ácido cítrico resultó ser más eficiente en cuanto a la conservación de color. Sin embargo es importante mencionar que estos cambios están relacionados al efecto que ejerció la película en la creación de una atmósfera modificada, ya que la presencia de CO_2 en la atmósfera de almacenamiento es un factor importante en la prevención de la degradación de la clorofila debido a procesos oxidativos y por la síntesis de otros pigmentos como antocianinas y carotenoides (Maftoonazad y Ramaswamy, 2005)

5.6 Evaluación de pH

En guayaba, los valores de pH varían entre 2,89 y 6,20, dependiendo de la variedad y estado de madurez en el que se encuentre el fruto (Pereira *et al.*, 2000), sin embargo, la concentración de ácidos libres disminuye por dilución, lo que provoca un aumento en el pH a medida que avanza el periodo postcosecha, (Solarte *et al.*, 2010).

En el **Gráfico 5** se muestra una clara tendencia al aumento de pH tanto en la guayaba control como en las que fueron sometidas a tratamiento, este aumento se atribuye a que durante el proceso de maduración los ácidos orgánicos presentes en la guayaba disminuyen por la actividad de las hidrogenasas, las cuales reducen la actividad metabólica provocando una menor difusión de oxígeno (Kays, 1997).

De igual modo en consecuencia el pH no solo determina los ácidos orgánicos libres, sino también la actividad microbiana que puede o no desarrollarse en un medio particular que en éste caso es el fruto de guayaba, desde el punto de vista microbiológico, la conservación de alimentos consiste en exponer a los microorganismos a un medio hostil (por ejemplo a uno o más factores adversos) para prevenir o retardar su crecimiento, disminuir su supervivencia o causar su muerte.

Uno de los factores más importantes que controlan la velocidad de los cambios deteriorativos y la proliferación de los microorganismos es el pH. Si la acidez del medio se incrementa, los microorganismos tratan de mantener al pH interno dentro de un rango estable limitado y en un valor mayor que el del medio, pero cabe mencionar que en general, los hongos tienen mayor habilidad para crecer a pH ácidos, pudiendo proliferar a un valor de pH tan bajo como 1,5.

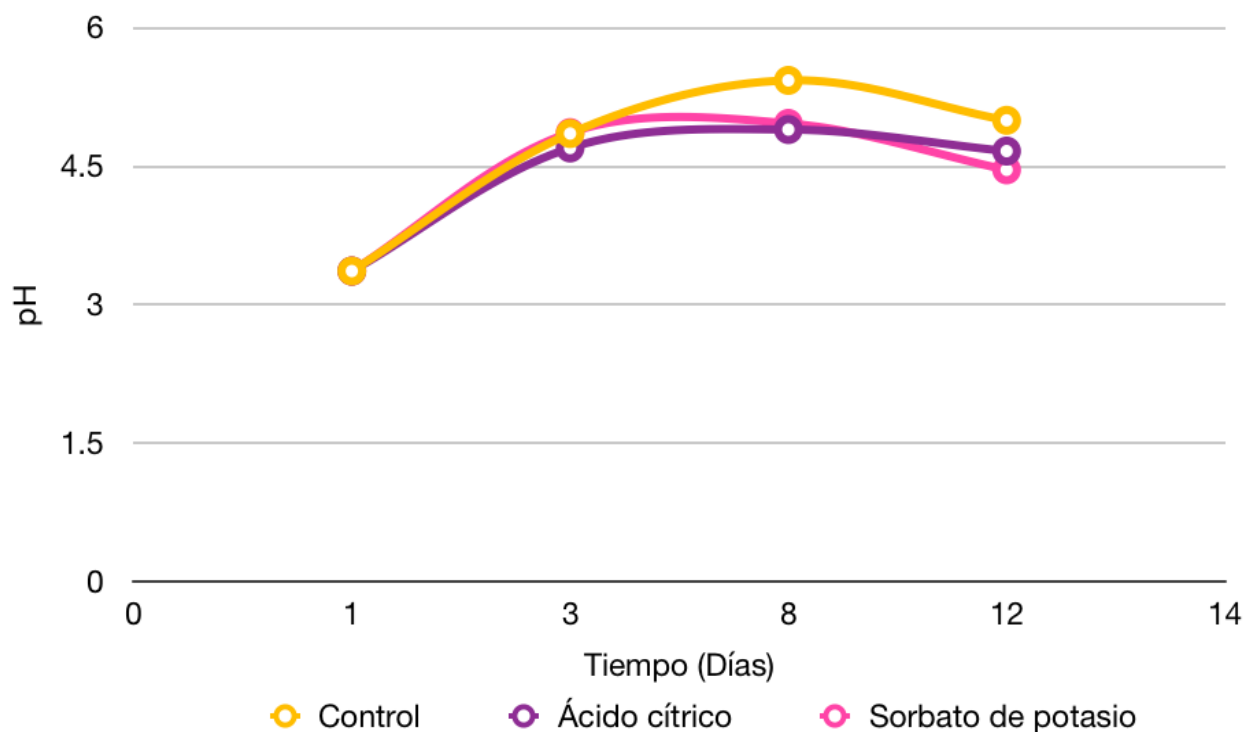


Gráfico 5. Valores de pH de frutas de guayaba durante 12 días de almacenamiento

Durante los 12 días de monitoreo, se presentaron diferencias significativas entre las películas, ya que los valores de pH tanto de las guayabas control como las recubiertas presentaron un pH desde 3.36 hasta 5 en su estado maduro, resultando más efectiva la película adicionada con sorbato de potasio con un valor de 4.46 con respecto a la de ácido cítrico que presentó un pH de 4.66.

Con respecto a los resultados obtenidos la película adicionada con sorbato fue más efectiva para ayudar reducir el proceso de maduración de la guayaba, ya que dicho compuesto es más eficaz en alimentos que tienen pH de entre 4 a 6, actuando contra la formación producidos por mohos, levaduras e infinidad de bacterias que afectan tanto la vida de anaquel como la calidad del alimento.

Sin embargo la tendencia a la disminución de este parámetro durante el almacenamiento no solo puede ser atribuida al conservante adicionado sino también a la película debido a que esta ejerce un efecto barrera que ayuda a disminuir el metabolismo activo de la fruta, disminuyendo la respiración celular de los tejidos vegetales limitando la degradación de los ácidos orgánicos por la limitada variación del pH (González *et al* 2010).

5.7 Acidez

Con base en el **Gráfico 6**. Se puede observar que los frutos de guayaba con y sin recubrimiento se tornaron menos ácidos en el transcurso del tiempo esto es debido a la utilización de los ácidos orgánicos como sustrato respiratorio y como fuente de carbono para la síntesis de nuevos compuestos durante la maduración, es importante mencionar que estos ácidos además de ser esenciales para el metabolismo del fruto, también desempeñan un papel crítico en el aroma, sabor y valor nutricional (Parra-Coronado, 2014).

El porcentaje de acidez de los frutos control disminuyó significativamente con respecto a la de las guayabas con tratamiento, pudiéndose observar que en estas la película ejerció un efecto barrera que ayudó a disminuir la volatilización de los ácidos orgánicos.

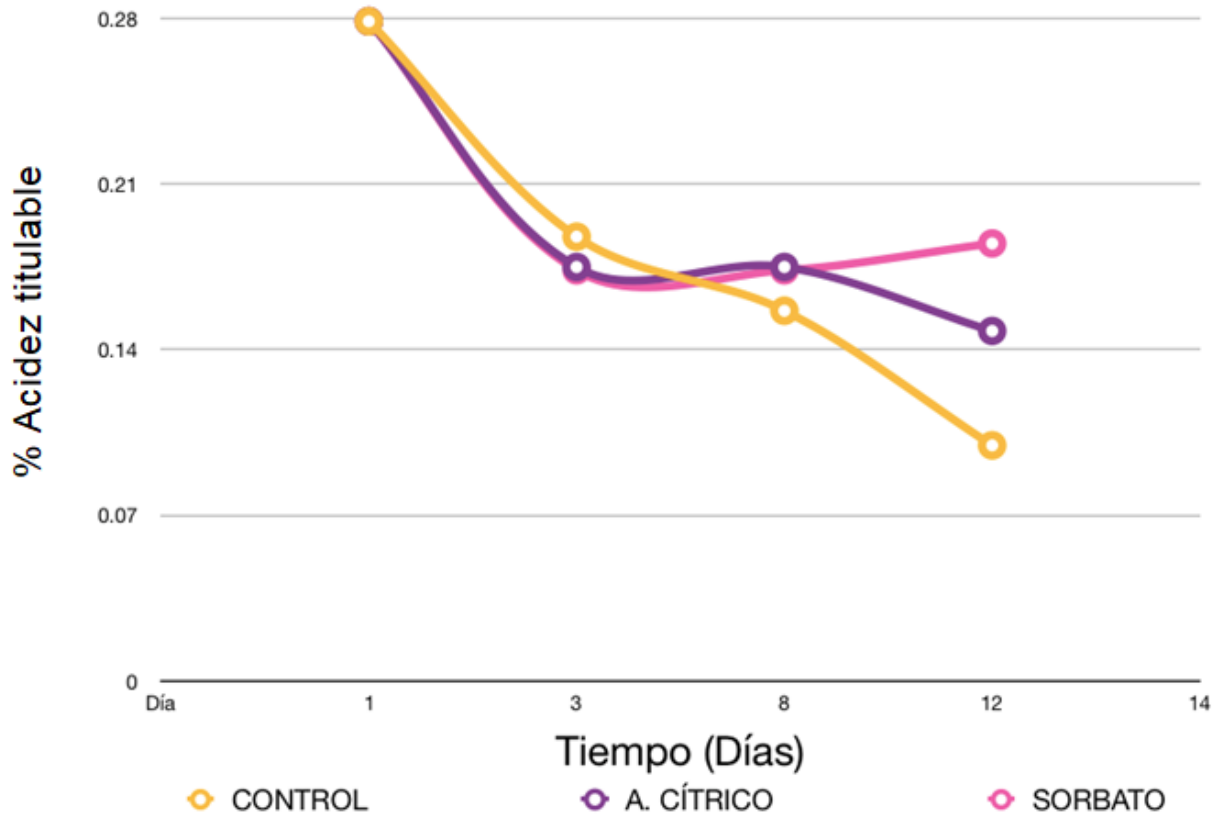


Gráfico 6. Acidez titulable de guayabas con agentes antimicrobianos

Cabe destacar que la película adicionada con ácido cítrico, presentó una rápida reducción de acidez dando lugar a la senescencia del fruto, en tal sentido las guayabas con película de sorbato de potasio mostraron valores de acidez más altos de entre el 0.17 y 0.18% durante los 12 días de monitoreo, lo cual significa que esta película resulta más útil para retrasar la maduración. esto además de la película que actúa como barrera lo podemos atribuir al sorbato de potasio ya que está formado por ácidos grasos insaturados que son capaces de aumentar o mantener la acidez del fruto, favoreciendo la conservación de características como sabor, textura, color y valor nutritivo.

5.8 Sólidos Solubles

La madurez de la guayaba se puede ver reflejada en el comportamiento de los sólidos solubles totales los cuales aumentan durante el periodo de maduración, este cambio se asocia a la síntesis de sacarosa y la oxidación de ácidos consumidos en la respiración.

En el **Gráfico 7** Sólidos solubles de guayabas sometidas a tratamiento durante 15 días con diferentes antimicrobianos, se observa la tendencia al aumento de los valores de sólidos solubles tanto para las guayabas control como las recubiertas con películas, sin embargo para las que estaban recubiertas con película de sorbato de potasio presentaron un aumento menor de sólidos solubles con respecto a las de ácido cítrico durante los 12 días de monitoreo.

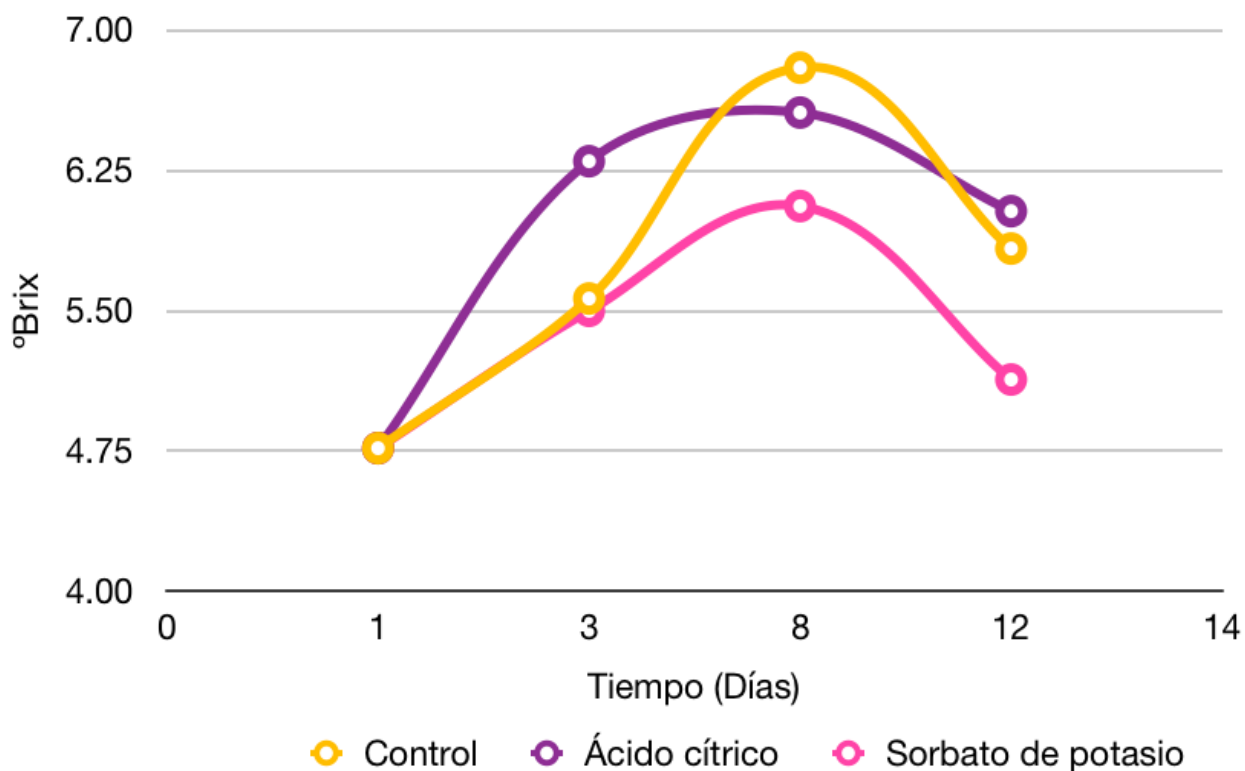


Gráfico 7. Sólidos solubles de guayabas con agentes antimicrobianos.

Otro de los aspectos a considerar en la conservación de la guayaba son los polisacáridos involucrados en la formación de la película, una de las gomas que ha sido probada en un estudio de (Mehyar ,2011), se demostró que las películas con goma guar adicionadas con sorbato de potasio conservaron mejor ciertos vegetales en comparación con películas de almidón formuladas con el mismo conservador.

5.9 Vida de anaquel

La inocuidad del producto se evaluó mediante una inspección visual de control microbiológico comparando el primer, tercer, octavo y doceavo día de almacenamiento realizando una distribución al azar en 3 grupos, el primer grupo se consideró como control mientras que el grupo 2 fue recubierto con película adicionada con ácido cítrico y el grupo 3 con sorbato de potasio.

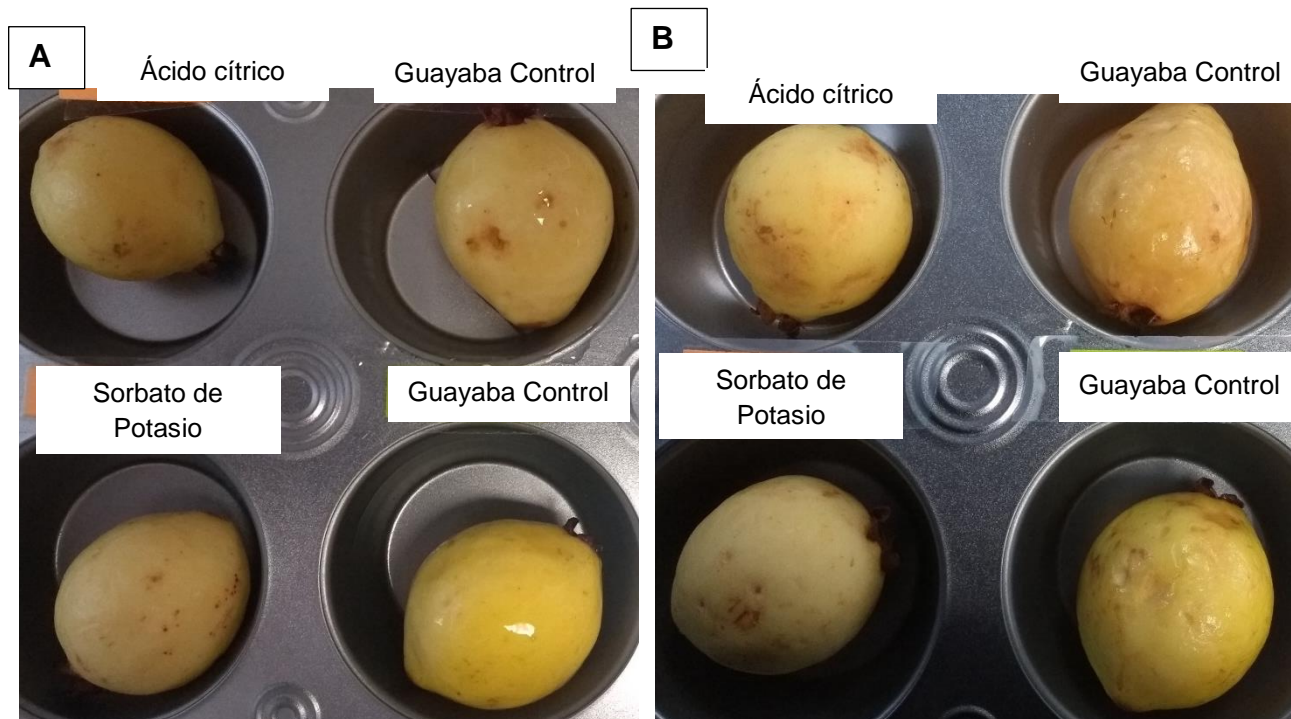


Figura 19. Día 1 de almacenamiento

Figura 20. Día 3 de almacenamiento



Figura 21. Día 8 de almacenamiento

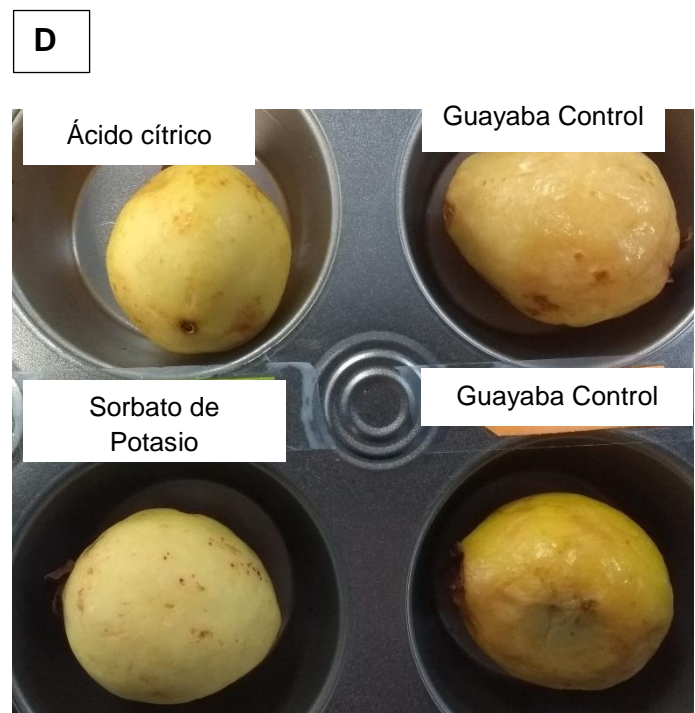


Figura 22. Día 12 de almacenamiento

En las imágenes presentadas, se puede observar que las guayabas de control al inicio del almacenamiento y en la etapa final se presentó un incremento de proliferación de microorganismos, debido a que las guayabas sin recubrimiento comestible siguieron generando nutrientes benéficos para la reproducción de éstos, es decir, su estructura al perder turgencia permitió la liberación de agua y concentraciones elevadas de solutos, por ejemplo, los azúcares pueden atraer vapor de agua y en su consecuencia formar gotículas sobre la superficie dañada. Éstas gotículas siguen aumentando de volumen y continua el tejido maltratándose por lo que facilita el crecimiento microbiano. Debido a la disponibilidad de agua libre y nutrientes (Pérez, 2006), mientras que las guayabas con recubrimiento no reportaron presencia de hongo.

El deterioro microbiano de un alimento se manifiesta habitualmente por alteraciones en el aspecto exterior, textura, color, olor y sabor o por la aparición de mucosidades. Visiblemente apreciamos cambios de color, hinchamiento y el crecimiento microbiano

especialmente de hongos, el daño de los productos alimentarios suele implicar su reblandecimiento y su descomposición que lleva a la formación de compuestos que tiene olores y sabores diferentes de los productos frescos.

De acuerdo a los resultados anteriores se puede deducir que el tipo de concentración de antimicrobiano de Sorbato de potasio utilizado en la formulación del recubrimiento comestible fue efectivo ya que no alteró los parámetros de calidad y evitó la invasión fúngica en las guayabas recubiertas, ya que la concentración de 0.5% de sorbato de potasio ejerció una acción antimicrobiana al penetrar la pared celular de los microorganismos, por lo que se extendió la vida útil de las guayabas tratadas proporcionando calidad y seguridad para el consumidor como para el alimento, además al tratarse de un producto listo para el consumo en las operaciones realizadas durante la elaboración como son la eliminación de la cera y la desinfección de las guayabas, permitieron disminuir la carga microbiana procedente del campo, ya que guarda impurezas, tierra, entre otros.

6. CONCLUSIONES

- Se formuló el recubrimiento comestible que presentó mejores resultados (goma guar 1%, alginato de sodio 2% y glicerol 5% adicionado con sorbato de potasio 0.5%) considerando su solubilidad de cada componente.
- En la evaluación de los parámetros de textura ó las propiedades mecánicas las películas adicionadas con sorbato resultaron ser más resistentes a la deformación y a la fuerza aplicada a comparación de las películas formadas con ácido cítrico.
- En las propiedades fisicoquímicas como el pH y °Brix se incrementaron durante la etapa de almacenamiento en todos los tratamientos y la acidez titulable sufrió una reducción paulatina, por tanto se sugiere que la aplicación fue efectiva y para un recubrimiento comestible elaborado a base de goma guar, alginato de sodio y glicerol, adicionado con sorbato de potasio como antimicrobiano ya que ayudó a retrasar la maduración de las guayabas manteniendo su calidad. En la

evolución del color, luminosidad y brillo no se encontraron diferencias significativas para las variables empleadas.

- Con estudios de microscopía electrónica de barrido se sugiere que las interacciones de mezcla entre los polisacáridos utilizados generan superficies lisas y homogéneas, sin poros o separación de sus componentes por tanto se sugiere que los biopolímeros empleados resultan adecuados en la formación de películas comestibles adicionadas con agentes antimicrobianos.
- Con respecto a la prolongación de vida de anaquel, se encontró que el sorbato de potasio resulta un compuesto adecuado para inhibir el deterioro por microorganismos, cuando se comparó con el ácido cítrico y control sobre superficies de guayaba prolongando la vida útil del fruto en el periodo de postcosecha.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alberto, I., Jiménez, C., Jeffrey, L., & Jones, M. (n.d.). Enfermedades del guayabo (*Psidium guajava*) en el sur de sonora.

Álvarez M, Castillo A, Rosa B, Hernández G. 2007. Incremento de la durabilidad del panqué por la aplicación de conservantes. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*; [Consultado 2017 jun 12]. 17(2):4–6.

Altenhofen, M., Krause, A. C., Guenter, T. (2009). Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca²⁺ ions: Effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate polymers*. 77,736 - 742.

A.; Bakr, A., 2003. Compositional changes during guava fruit ripening. *Food Chemistry*. Pp. 557-563.

Azzolini, M., Jacomino, A. P., & Bron, I. U. (2004). Índices Para Avaliar Qualidade Pós-Colheita De Goiabas Em Diferentes Estádios De Maturação. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 39(2), 139–145. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200006>

Aserca, 1996. Estudios del mercado mundial de la guayaba, Revista claridades agropecuarias, Pp. 3-14.

Badui S. (1993). Química de los alimentos. Cuarta edición, Universidad Iberoamericana. Departamento de Ingeniería y Ciencias Químicas. Campus Ciudad de México. Pág.110-112.

Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O., Hagenmaier, R.D., y Baker, R.A. 1997. Use of lipids enCoatings for food products. *Food Technology*, Pp. 56-63.

Badawy, M., Rabea, E., (2009). Potential of the biopolymer chitosan with different molecular weights to control postharvest gray mold of tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, Pp. 110-117.

Bashir, A.; Bakr, A., 2003. Compositional changes during guava fruit ripening. *Food Chemistry*. Pp. 557-563.

Bhande, S., Ravindra, M., Goswami, T., (2008). Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*. Pp. 116-123.

Bello J. (2000). Ciencia bromatologica principios generales de los alimentos. Ediciones Díaz de Santos S. A. Juan Bravo 3-A 28006 Madrid, España. Pág. 98.

Cagri, A.; UstunolL, Z.; Ryser, E.T.: "Antimicrobial edible films and coatings", *Journal of Food Protection*, 67(4): 833-848, 2004.

Calderón, A., 1998. Fruticultura General. El Esfuerzo del Hombre. Ed. 3. México, D.F,UTEHA. Pp. 152-189.

Calvo, C. y Durán, L (1997). Propiedades Físicas II: Ópticas y Color. En Temas en Tecnología de Alimentos. Editado por J. M. Aguilera. Instituto Politécnico Nacional. Págs. 261-288. México D.F..

Campos, C. A., Gerschenson, L., N. y Flores S. K. 2011. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. Food Bioprocess Technol. 4:849-875.

Cha. Ch.(2004) “Empaque antimicrobiano a base de biopolímeros”. Crit Rev Food Sci Nutr. 2004, 223-37.

Cuberto N. Monferrer A. & Villalta J. 2002. Aditivos alimentarios. Tecnología de Alimentos. Editorial mundi-prensa. Madrid España. Pág.122-134.

Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J.A. y Voilley, G., 1998, Edible Films and Coatings Tomorrow's Packagings: A Review. Critical Reviews in Food Science, Pp. 299-313.

Domínguez-Courtney, M. F., & Jiménez-Munguía, M. T. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 110–121.

Droby, S., M. Israel y N. Benkeblia. 2011. Postharvest pathology of tropical and subtropical fruit and strategies for decay control. pp. 194-223. En: Yahia, E.M. (ed.) Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Vol. 3. Woodhead Publishing, Oxford, UK

Espinoza-Herrera, N., Pedroza-Islas, R., San Martín-Martínez, E., Cruz-Orea, A., y Tomás, s., 2011. Thermal, mechanical and microstructures properties of cellulose, derivatives films: a comparative study, *Food Biophysics*. 6(1):106-114.

Espinoza N., 2015. Efecto de un recubrimiento comestible funcional a base de goma guar sobre la calidad de guayaba. *Ingeniería en ciencia y Tecnología de Alimentos*.

Fazilah, A., Maizura, M., Abd Karim, A., Bhupinder, K., Rajeev, B., Uthumporn, U., & Chew, S. H. (2011). Physical and mechanical properties of sago starch - Alginate films incorporated with calcium chloride. *International Food Research Journal*, 18(3), 1027–1033.

Fennema O. (2002) “Química de los Alimentos” editorial Acribia, segunda edición. España.

Fontes, L. B., Ramos, K. K., Sivi, T. C. y Queiroz, F. C. 2011. Biodegradable edible films from renewable sources-potencial for their application in fried foods. *American Journal of Food Technology*. 6(7):555-567.

García F., 2017. Influencia de las condiciones de operación en el proceso de pasteurización de jugo de sandía adicionado con nanocápsulas de a-tocoferol. Universidad Nacional Autónoma de México.

Garcia M., Lin H., Chang, D., 2003. El cultivo de la guayaba taiwanesa. San Andrés.

González M., Morales B., 2017. Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.

Gonzalez, G, Ayala, J., Olivas, G. y Álvarez E, 2010. Preserving quality of freshcut products using safe technologies. *Journal Food Microbiology* 39, 101-110.

Guilbert, S. y Biquet B.(1995). Películas y envolturas comestibles. En Ebalaje de los alimentos de gran consumo. Editores: G Bureau, J. L. Multon. Ed. Acribia Zaragoza.

Gutiérrez O.,Nieto D., 2002. Características Morfológicas, Culturales y Patogenicidad de Aislamientos de *Colletotrichum* spp. Obtenidos de Frutos de Guayaba (*Psidium guajava* L.) Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad.

Hernández M. Avelar A. Quinteri T. & Da silva V. 2011. Laminas libres de alginato de sodio de laminaria *Hiperborea* y *Macrocystis pyrifera*- estudio morfológico. Revista Iberoamericana de Polímeros.

Hernández Y. 2005. Efecto de la mezcla de plastificantes en las propiedades físicas, mecánicas y de transporte de películas de quitosano. Tesis Licenciatura. Ingeniería de Alimentos. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Escuela de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla.

Herrera Silva, M. (2015). Caracterización óptica, por ciento de humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua de películas comestibles compuestas a base de alginato de sodio.

Jarret, D., Stopforth, J., Sofos, F., 2005. Antimicrobial in Foods. Chapter 3: Sorbic Acid and Sorbates. Taylor & Francis Group, LLC.

Kader, A. A, 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops - An Overview from Farm to Fork , Department of Plant Sciences, University of California Davis.

Kester, J. y Fennema, O., 1986. Edible Films and Coatings: a review. Food Technology, Pp. 47-59.

Krochta, J.; Mulder-Johnston, C.: "Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities", Food Technology, ISSN:0015-6639, 51: 61-74, 1997

León J.L, (2014) "Los alginatos: 20 mil usos de las algas submarinas" Revista de química de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Vol 28.

Lisa M. Keith, Velazquez M. E., and Francis T. 2006. Identification and Characterization of *Pestalotiopsis* spp. Causing Scab Disease of Guava, *Psidium guajava*, in Hawaii. Plant Dis. 90:16-23.

Maftoonazad, N. y Ramaswamy, H. S.,(2005). Postharvest shelf-life extensión of avocados using methyl cellulose-based coating. LWT-Food Science and technology, 38, 617- 624.

Miramón, S., 2012. Recubrimientos elaborados a partir de biopolímeros para el soporte de sustancias con actividad antimicrobiana: Carvacrol y sorbatos. Escuela de Posgrados de Buenos Aires.

Malvern Instruments. (2004). Zeta potential theory. Editor Malvern Instruments. Zetasizer Nano Series User Manual. England.

Mehyar G (2011). Eficacia antifúngica del sorbato de potasio incorporado en recubrimientos comestibles contra el deterioro de los moldes de manzanas, pepinos y tomates durante el almacenamiento refrigerado. Journal Food Science

Nieto, A., 2007 Frutales nativos, un recurso fitogenético de México. MX, Universidad Autónoma de Chapingo

NMX-FF-040-SCFI-2002.Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - fruta fresca - guayaba (*psidium guajava* l.) – especificaciones (cancela a la NMX-FF-040-1993-SCFI).

Park, H. 1999. Development of advanced edible coatings for fruit. *Food Science Technology*. Pp. 254 – 260

Pal, R.K., S.P. Singh, C.P. Singh y R. Asre. 2007. Response of guava fruit (*Psidium guajava* L. Cv. Lucknow-49) to controlled atmosphere storage. *Acta Hort.* 735, 547-554.

Parra-Coronado, A. y J.E. Hernández-Hernández. 2008. Fisiología postcosecha de frutas y hortalizas. 4a ed. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Pérez, R., Mitchell, S., Vargas, R., 2008.*Psidium guajava*: a review of its traditional uses, photochemistry and pharmacology. *Journal of Ethno-pharmacology*.

Pereira W.E., F.A. D'Araujo, D. Lopes, B.C. Horts, P.R. Cecon y R. Santos. 2000. Rendimento e algumas características físicoquímicas dos frutos de seis variedades de goiabeira desenvoltos em condições de déficit hídrico. *Rev. Ceres* 47(272), 349-362.

Ping Q, Z., y Wen-Shui, X. 2008. Physicochemical properties of edible and preservative films from chitosan/cassava starch/gelatin blend plasticized with glycerol. *Food Technology & Biotechnology*. 46(3):262-269.

Rojas, A., Gerschenson, L., & Goyanes, S. (2014). PELÍCULAS COMESTIBLES, (October 2014).

Ribeiro, C.; Vicente, A.; Teixeira, J.; Miranda, C.: "Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence"., *Postharvest Biology and Technology*, doi:10.1016/j.postharvbio.2006.11.015, (44): 7, 2007.

Rojas-Gau, M., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. 2009. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: review. *International Journal of Food Science & Technology*. 44(5):875-889

Sánchez-González, I.; Pastor, c.; Vargas, m.; chiralt, a.; gonzález-martínez, c.: "Effect of hydroxypropylmethylcellulose and chitosan coatings with and without bergamot essential oil on quality and safety of cold-stored grapes.", [en línea] *Postharvest Biology and Technology*, DOI-doi, 60(1): 57-63, 2011.

Singh, S.P. y R.K. Pal. (2008). Response of climacteric type guava (*P. guajava* L) to postharvest treatment with 1-MCP. *Postharv. Biol. Technol.* 47, 307-314. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.08.010

Solarte A. 2014. Caracterización morfológica, molecular y patogénica de *Pestalotiopsis* sp. Agente causante de la enfermedad del clavo en la guayaba *Psidium guajava* L. y evaluación in-vitro de biofungicidas. Universidad de Colombia

Soliva R., & Martín O. 2001. Envasado de alimentos mediante recubrimientos comestibles. *Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos* 29-38.

Terreno, R. D. E. L., Cacería, I. D. E. L. A., & Fuerte, E. (2005). Ra Ximhai. *Historia*, 1, 39–50.

Vargas, M., 2008. Recubrimientos comestibles a base de quitosano: Caracterización y aplicación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.

Vazquez, O, Colinas L. 1990. Changes in guavas of three maturity stages in response to temperature and relative humidity. *HortScience* 25(1), 86-87

Virto, R. *et al.* Inactivation kinetics of *Yersinia enterocolitica* by citric and lactic acid at different temperatures. *International Journal of Food Microbiology*, 103(3): 251-257, 2005.

Yam Tzec, J.A., C.A. Villaseñor Perea, E. Romantchik Kriuchkova, M. Soto Escobar y M.A. Peña Peralta. 2010. Una revisión sobre la importancia del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) y sus principales características en la postcosecha. *Rev. Cienc. Técn. Agropec.* 19(4), 74-82